# MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

DE EDITORIAL FONTALBA

Nº 4
MENSUAL
250 PTAS

## Ecosistemas del coto de Doñana
## La comunicación química en los insectos
## ¿Es tóxica la ternera con hormonas?
## Estrellas dobles • Genética de una población humana

EX LIBRIS Scan Digit

The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

# MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

Nº 4

**Nuestra portada:**

**Tal como explica el astrofísico belga Camiel de Loore (p. 386), la estrella más masiva de un sistema binario, en un momento determinado de su evolución, puede perder materia. Una fracción de esta materia desgajada es recogida por su compañera, y el resto abandona el sistema. Es justo este movimiento de intercambio el que Vicente Chaix ha plasmado de forma admirable en esta ilustración que aparece en nuestra portada.**


**360 LA COMUNICACIÓN QUÍMICA EN LOS INSECTOS,** por Claudine Masson y Rémy Brossut.
*Detectar a la pareja, identificar a un depredador, volver al lugar de puesta, etc. Los insectos emiten y perciben señales químicas, verdaderos mensajeros entre el individuo y su medio.*

**372 LA DESTREZA DEL ARTESANO EGIPCIO,** por Béatrix Midant-Reynes y Jacques Tixier.
*¿Por qué y cómo el artesano del Egipto predinástico tallaba las suntuarias hojas de cuchillos de sílex, cuya utilización continúa siendo, todavía hoy, un enigma?*

**374 LA GENÉTICA DE UNA POBLACIÓN HUMANA,** por André Chaventré y Laurent Degos.
*La primera observación sobre la evolución real del patrimonio genético de una población humana ha sido llevada a cabo sobre los Tuareg. Un estudio que contribuirá, sin duda alguna, a la renovación de la genética de las poblaciones.*

**384 KARL JANSKY Y LOS ORÍGENES DE LA RADIOASTRONOMÍA,** por James Lequeux.
*Hace cincuenta años el ingeniero americano Karl Jansky descubría la emisión de radio de la Vía Láctea. Esto constituiría el punto de partida de una nueva ciencia, que ha visto coronados sus incesantes esfuerzos investigadores con la concesión, en fechas recientes, de dos premios Nobel.*

**386 LAS ESTRELLAS DOBLES,** por Camiel de Loore.
*Las estrellas dobles tienen una importancia excepcional para los astrónomos. La razón fundamental hay que buscarla en el hecho de que la mitad de las estrellas conocidas del universo pertenecen a estos sistemas.*

**398 CÓDIGO GENÉTICO Y EVOLUCIÓN DE LAS ESPECIES,** por Richard Grantham.
*El descifrado de la información contenida en 131 genes muestra que no todos los seres vivos utilizan del mismo modo el repertorio de «palabras» de la «lengua de los genes».*

**401 ¿ES TÓXICA LA TERNERA CON HORMONAS?,** por André Picot.
*Para justificar las prácticas prohibidas por la ley, se ha pretendido oponer las hormonas naturales, «buenas», a las hormonas artificiales, consideradas «nocivas» o «malas». Sin embargo, se impone la pregunta: ¿corresponde esta distinción a una realidad científica?*

**406 LA CONDUCCIÓN DEL CALOR,** por Jean-Paul Issi.
*Las investigaciones sobre los mecanismos de conducción del calor en los materiales han experimentado en la actualidad un nuevo y vigoroso impulso. ¿Permitirán la puesta a punto de nuevos aislantes térmicos?*

**416 DOSSIER: LOS JAPONESES, LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA,** por Marc Dupuis.
*Japón es una gran potencia tecnológica. Pero, ¿es también un gran país científico? Los estereotipos, repetidos a lo largo de estos últimos años hasta la saciedad con respecto al «modelo japonés», olvidan a menudo lo esencial.*

**425 EL CLONAJE DE LOS MAMÍFEROS: UN «FUTURO MUNDO FELIZ»,** por Marcel Blanc.
*Por fin se ha conseguido la reproducción asexuada en laboratorio de una rata. Pero, ¿con qué objetivo?*

**429 LA TELEVISIÓN DE BOLSILLO,** por Guy Labrunie.
*Sendos minitelevisores, que podrán llevarse en el bolsillo o en la muñeca, se encuentran en fase experimental en el Japón. Los fabricantes anuncian su comercialización en un plazo máximo de dos años.*

**432 UNA PROTEÍNA PARA PROTEGER LA CÉLULA,** por Mireille Tardy-Horaist.
*Una pequeña proteína, llamada RecA, controla la reparación del DNA dañado en las bacterias. ¿Será posible en un futuro cercano poner de manifiesto una proteína semejante en el hombre?*

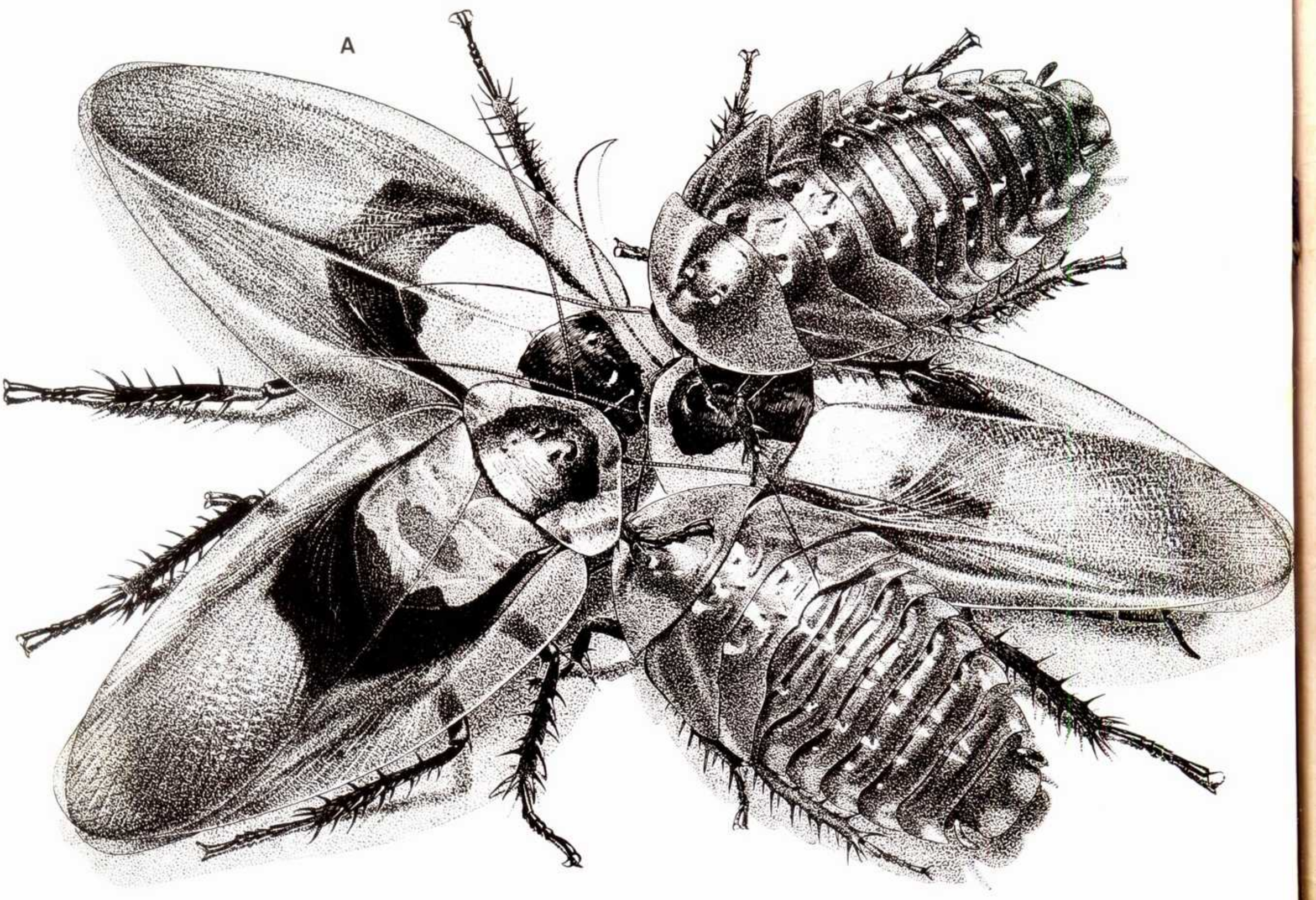
**440 ECOSISTEMAS DEL COTO DE DOÑANA,** por Francisco García Novo.
*La importancia del Parque Nacional de Doñana como área natural radica en la gran diversidad de sus ecosistemas, que constituyen una interfase o área de encuentro entre los mundos biológicos mediterráneo, atlántico, eurasiático y africano.*

**452 EN EL CORAZÓN DE LAS LLAMAS,** por Louis Boyer y Pierre Clavin.
*¿Cómo mejorar el rendimiento de los turborreactores y de las cámaras de combustión? Mediante la puesta a punto de métodos de diagnóstico de las llamas se aprende a dosificar su turbulencia.*

**435 Correspondencia**
**437 Ciencia y política**
**455 Informaciones y noticias**
**459 Publicaciones recibidas**
**460 Libros**
**465 Manifestaciones científicas**
**469 Sumario inglés**

# La comunicación química en los insectos

por Claudine Masson y Rémy Brossu




**Claudine Masson** es directora de investigación del CNRS y responsable del laboratorio de Neurobiología sensorial de insectos del CNRS/INRA en Bures-sur-Yvette.
**Rémy Brossut** es investigador del CNRS y trabaja en el laboratorio de Zoología de la Universidad de Dijon.

**■ Detectar a la pareja, identificar a un depredador o al congénere, volver al lugar de puesta o a la fuente de alimentos, etc.: el insecto emite o percibe unas señales químicas, verdaderos mensajeros entre el individuo y su ambiente o entre varios individuos.**

**■ El olfato es la principal forma de transmisión de las informaciones. Pero ¿cómo reconoce un insecto un olor entre tantos otros? ¿cómo recibe el mensaje el cerebro? ¿cómo desencadena, este último, un comportamiento específico? Las investigaciones en neurobiología permiten comprender ahora algunas de las modalidades de acción.**

**■ Las señales olfativas recibidas —y, en ocasiones, emitidas—, de forma más o menos específica, por el insecto, pueden ser utilizadas por el hombre. Por ejemplo, como elementos de la lucha biológica o de la polinización, dos posibles aplicaciones que tienen como finalidad conseguir rendimientos agrícolas óptimos.**

■ En los insectos, las señales olorosas, quizá más que las visuales, juegan un papel primordial en la vida y la supervivencia de las especies. Las relaciones entre los individuos de una misma especie o de especies distintas y entre un individuo y su ambiente pueden, en efecto, estar aseguradas por mediación de moléculas volátiles con propiedades olorosas (V. recuadro 1). Ordinariamente, son las señales químicas las que guían al insecto hacia su lugar de puesta o hacia las fuentes de alimento. De la misma forma, moléculas en suspensión en el aire ambiental son las que permiten al insecto detectar a su pareja, localizar a sus depredadores o, también, identificar a sus congéneres. Es el caso, por ejemplo, de las hormigas de un mismo hormiguero, las abejas, etcétera (V. figs. 1 y 2).

Según la amplitud de su capacidad de detección, los insectos se dividen en dos grandes grupos principales. El primero está constituido por insectos muy especializados en sus relaciones químicas con el medio, son los *insectos especialistas*. Sus acciones se reducen generalmente a la localización de la planta huésped, del lugar de puesta y a la identificación de la pareja. Es el caso tan conocido del gusano de la seda, *Bombyx mori*, y de numerosas especies parásitas de cultivos (en particular lepidópteros).

La relativa pobreza de su gama de reacciones, frente a cualidades olorosas variadas, está compensada por una gran especificidad y una elevada sensi-

Figura 1. **En los insectos, las señales olfativas desempeñan un papel primordial en la vida y la supervivencia de las especies.**
A. **Las cucarachas (en este caso, *Blaberus craniifer*) son insectos gregarios. La cohesión del grupo se asegura mediante una feromona gregaria, que es segregada por las glándulas mandibulares (en esta especie está constituida por una mezcla de undecano y de tetradecano).**
B. **Las cucarachas segregan feromonas sexuales que aseguran el encuentro de los sexos y poseen un papel afrodisiaco. En *Nauphoeta cinerea* es el macho el que emite la feromona sexual, adoptando una posición de llamada (1). La emisión de esta feromona sexual por las glándulas esternales provoca el acercamiento de ambos sexos: macho y hembra se «acarician» con sus antenas; el macho percibe así una feromona sexual de contacto, absorbida sobre el tegumento de la hembra (2), (en *Blatella germanica* esta feromona es la 3,11-dimetil-2-nonacosanona); el macho descubre entonces sus glándulas tergales, levantando sus alas (3); la hembra lame las secreciones tergales (4); el macho alarga su abdomen y realiza el acoplamiento, se da la vuelta (5); el acoplamiento se realiza formando sus cuerpos un ángulo de 180°.**

**Una cucaracha atacada emite una sustancia de alarma que provoca la dispersión de sus congéneres.**

bilidad con respecto a un pequeño número de sustancias. Así, la hembra del gusano de la seda emite una sustancia, el bombicol, que atrae al macho a distancias a veces considerables y lo condiciona al acoplamiento (efecto afrodisíaco). Se llama «feromona»(1) a la sustancia química de esta naturaleza, emitida por un individuo y percibida por otro de la misma especie, en el que desencadena una modificación del comportamiento o de la fisiología. Investigadores del equipo de Dietrich Schneider (RFA) han demostrado que se alcanza el umbral de detección de las antenas de *Bombyx mori* cuando una corriente de aire (60 cm/s) contiene 10 000 moléculas/ml de bombicol durante algunos segundos. La captación de una sola molécula parece suficiente para determinar la reacción del macho...

El segundo gran grupo de insectos está constituido por los que poseen una sensibilidad química mucho más diversificada: son los *insectos generalistas*, como las abejas, las avispas o las hormigas (insectos sociales) y otros como las cucarachas, que han conseguido conservar una forma de vida gregaria, próxima, en algunos aspectos, a la vida en sociedades organizadas. Estas especies generalmente tienen períodos de vida largos (meses o años), mientras que los insectos especialistas viven un tiempo mucho más corto (algunas horas o días).

Las cucarachas constituyen un ejemplo particularmente interesante de insectos con comunicaciones químicas múltiples: además de conservar una alta sensibilidad frente a ciertas sustancias específicas, son capaces de reconocer señales olfativas muy diversas. El sorprendente aislamiento geográfico de las distintas especies de cucarachas es

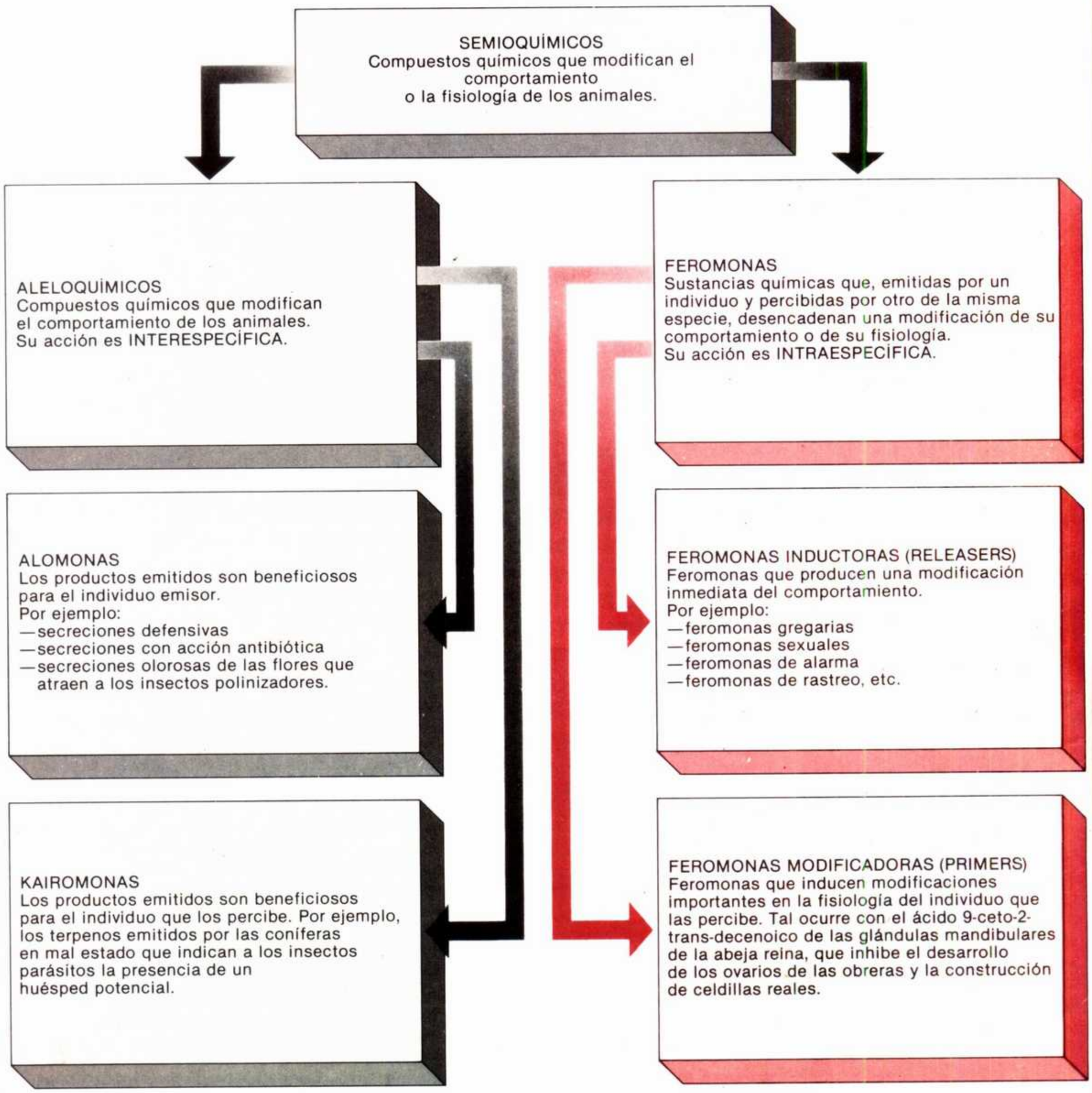
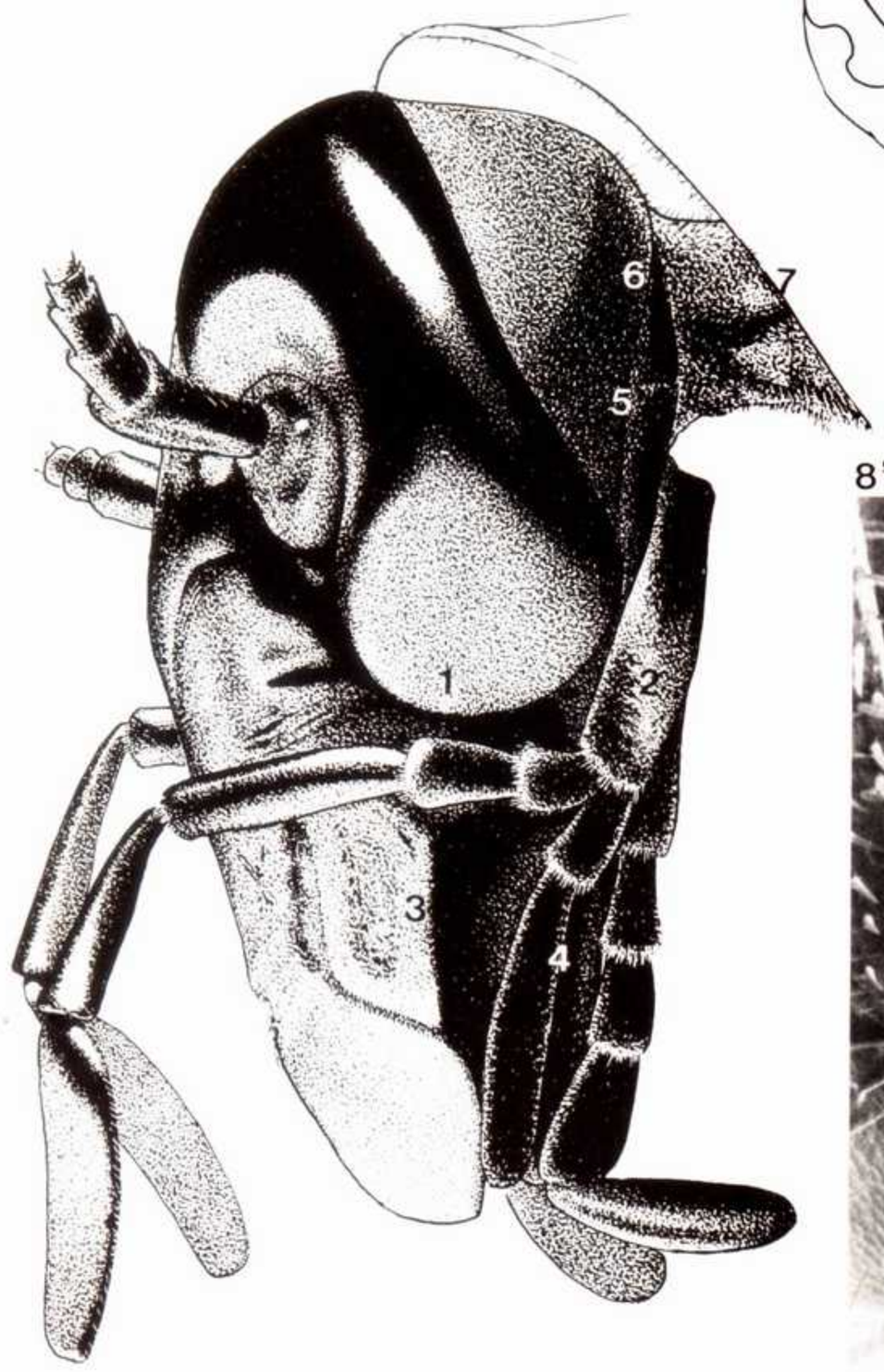
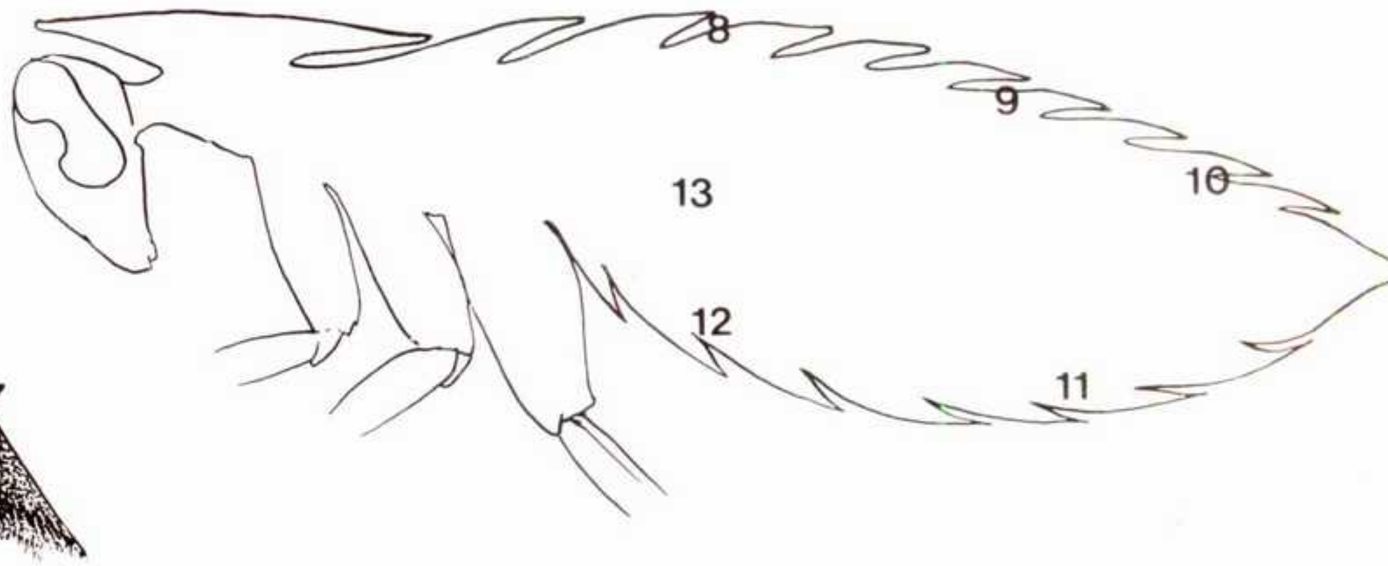



Figura 2. **Clasificación de las principales señales químicas utilizadas por los insectos y que desempeñan un papel primordial en su vida.**




8'

8''

Figura 3. **Las cucarachas son, indudablemente, los insectos que poseen el sistema glandular exocrino más complejo.**
**En la cabeza, sólo se conoce el papel de las glándulas mandibulares (1); en el caso de varios *Bladeridae*, segregan una feromona gregaria. No se conoce el papel de las otras glándulas. Todas se abren al exterior de la cápsula cefálica: (2) gls. intralabiales, (3) gls. hipofaríngeas, (4) gls. maxilares, (5) gls. hipostómicas inferiores, (6) gls. hipostómicas superiores, (7) gls. collares.**
**A nivel del abdomen, la función de las glándulas se conoce mejor. Las *glándulas tergales*, (8) presentes únicamente en los machos adultos, cumplen una función importante durante el período que precede al acoplamiento; las hembras vienen a lamer sus secreciones. Puede haber un solo terguito modificado (8') o, por el contrario, que todos los terguitos posean glándulas pero sin modificación externa, en cuyo caso sólo la microscopia electrónica permite descubrir la presencia de orificios glandulares y de secreción (8''). En *Deropeltis wahlbergi* (9) y *Blatta orientalis* (10) las glándulas tergales tienen una misión defensiva.**
**Muchas especies poseen glándulas esternales defensivas (11), mientras en otras estas glándulas segregan una feromona sexual (12). A menudo existen glándulas defensivas asociadas al segundo estigma abdominal (13).**

debido a la presencia de un tipo de feromonas que asegura la cohesión de los grupos (feromonas gregarias) (V. fig. 1A) y a otro tipo responsable del encuentro de los sexos (feromonas sexuales) (V. fig. 1B). Las cucarachas segregan también unas sustancias complejas que tienen función defensiva. Los métodos de defensa son diferentes según las especies. Algunas utilizan sustancias altamente repulsivas y tóxicas *(Eurycotis floridana).* Otras practican una emisión simultánea de las secreciones defensivas. El ataque de un depredador provoca la rápida formación de un grupo de varias decenas de individuos que emiten sus secreciones defensivas al mismo tiempo *(Cartoblatta pulchra).* Existen, incluso, otras especies que, cuando son capturadas por un depredador, emiten una sustancia de alarma, que provoca inmediatamente la dispersión del grupo.

Al parecer, en las cucarachas, como en otras especies, la tendencia gregaria es una estrategia en la que la comunicación química desempeña un papel fundamental. Parece como si el mantenimiento de una cierta cohesión del grupo las hubiese protegido contra el empobrecimiento de los sistemas químicos de reconocimiento, favoreciendo la diversidad de los intercambios. Desde este punto de vista, la cucaracha constituye un material experimental excelente, ya que permite un análisis paralelo y comparado del reconocimiento de señales específicas y no específicas.

### La emisión de productos volátiles: un conjunto de glándulas muy complejo

El sistema glandular de los insectos y los productos que segregan son extraordinariamente complejos (fig. 3). Frecuentemente, se trata de mezclas variadas de diversas sustancias (cetonas, alcoholes, hidrocarburos, ácidos, lactonas, etc.). Las cucarachas pueden tener hasta siete pares de glándulas situadas en la cabeza; sólo se conoce el papel que desempeñan las glándulas mandibulares.(2) Numerosas especies producen una feromona gregaria específica. Por ejemplo, la feromona gregaria, segregada por las glándulas mandibulares de *Eublaberus distanti,* es una mezcla de 2,6 dimetil -4-heptanona, de

(1) P. Karlson, M. Lüscher, *Nature, 183,* 55, 1959.
(2) R. Brossut, P. Dubois, J. Rigaud, *J. Insect Physiol., 20,* 529, 1974.

**Sintetizadas por el hombre, las señales químicas pueden servir para aumentar la concentración de insectos en los cultivos que se han de polinizar.**

4-heptanona, de octanol y de undecano. Estas mismas glándulas segregan además otros catorce productos (cetonas, alcoholes, hidrocarburos, etc.) cuyo papel no ha podido determinarse hasta ahora (V. cuadro 2).

Estos insectos también poseen glándulas a nivel del abdomen; su papel se conoce mejor. Por ejemplo, actúan como glándulas tergales en los machos adultos. Así, durante el período que precede al acoplamiento, las hembras lamen sus secreciones que juegan un papel afrodisíaco.(3) Muchas especies poseen además glándulas esternales, generalmente con función defensiva, pero que en algunas especies segregan una feromona sexual. En *Eurycotis floridana*, las glándulas esternales segregan un producto muy tóxico, con un fuerte «olor a chinches», compuesto por un 90 % de E-2-hexenal, pero que contiene además ácidos y lactonas cuya función nos es desconocida.

Estas secreciones de múltiples compuestos son frecuentes en los insectos, sobre todo en los himenópteros. La hormiga de Argentina emite más de 55 productos volátiles diferentes.

El papel de estos distintos constituyentes es difícil de dilucidar por ahora. Algunos hidrocarburos podrían servir de solvente de productos más volátiles y prolongar, así, su acción. En cuanto a las secreciones defensivas, una gama elevada de productos serviría para repeler a numerosos depredadores, aunque no todos sean sensibles a los mismos productos, o para evitar la adaptación de una especie, es decir, la tolerancia a una secreción si contiene sólo un número reducido de compuestos.

Si los emisores son múltiples, los mismos productos emitidos constituyen también señales muy distintas. El complejo odorífico feromonal de una especie es un conjunto de diversos componentes. Sólo una asociación en proporciones definidas de cada una de las fracciones constituye el estímulo activo específico. Por ello, es verosímil que la complejidad de ciertas mezclas feromonales pueda ser un condicionante para volverlas más específicas.

Variaciones ínfimas en las proporciones de los compuestos de la mezcla bastan para volverla completamente ineficaz, e incluso pueden transformar una feromona específica de la especie A en una sustancia atractiva para la especie B, especies filogenéticamente próximas, aisladas geográficamente. A este respecto, los estudios realizados por Ernst Priesner en mariposas demuestran ampliamente lo dicho.(4)

### La antena, órgano de detección y de recepción de las señales olfativas

¿Cómo puede un insecto reconocer un olor, sea sustancia pura o mezcla? La identificación global del «mensaje-olor» por el insecto implica una sucesión de fenómenos que se sitúan a tres niveles complementarios: el *nivel molecular*, en el que se establece la interacción específica entre el estímulo y el sistema receptor; el *nivel celular*, en el que se efectúa la codificación olfativa, y el *nivel central*, donde ocurre el reconocimiento global del mensaje, que desembocará finalmente en el acto propio del comportamiento.

Sólo ha sido objeto de numerosas investigaciones, desde hace una veintena de años, el nivel celular; las investigaciones referentes al nivel central son recientes y por ello los resultados son aún fragmentarios. Respecto a los datos del nivel molecular, los resultados de experimentos de difícil realización son poco numerosos, y algunas interpretaciones son, por ahora, hipotéticas.

De todas formas, esta sucesión de niveles implica una etapa primordial, cual es la detección diferencial de informaciones químicas variadas que provienen del ambiente circundante. Esta fase ocurre a nivel de las antenas, provistas de estructuras especializadas en la detección de diversas modalidades sensoriales, no sólo químicas (olfativas y gustativas), sino también mecánicas, térmicas, higrométricas, etcétera.

La antena de todos los insectos está constituida según un mismo esquema: una sucesión de artejos, cuyo número, dimensiones y morfología varían de una especie a otra (V. fig. 4). Las modificaciones de la cutícula de la antena forman los sensilios (depresiones, invagi-

## 1. Lucha biológica y polinización.

■ Las señales olfativas recibidas —y a veces emitidas— de forma más o menos específica por el insecto pueden ser utilizadas ventajosamente por el hombre en forma de productos sintetizados; como factores, por ejemplo, de la *lucha biológica integrada* o de *polinización*; dos posibles aplicaciones que tienen como fin la optimización de los rendimientos agrícolas:

—ciertos mediadores químicos, como las feromonas sexuales, son factores de aproximación de los sexos de una especie. Cuando estos insectos son perjudiciales para los cultivos, la utilización de estas sustancias específicas en forma de productos sintetizados permite disminuir los daños. Actualmente, se utilizan dos métodos: los denominados «de advertencia» y los «de confusión». En el método de advertencia, las cápsulas impregnadas de feromonas se colocan en trampas y los machos capturados se censan regularmente. El tratamiento por insecticidas no se efectuará más que a partir de cierta cantidad umbral, lo que permite una aplicación prudente. Este sistema se utiliza actualmente en Francia en varias estaciones del INRA. El método llamado «de confusión» consiste en utilizar, por ejemplo, tubos capilares muy finos que, rellenados con la feromona sintetizada, son lanzados en los cultivos con ayuda de turbinas fijadas a tractores o a las alas de aviones. Las fibras se adhieren a las hojas y van liberando progresivamente la feromona sexual. Los machos, desorientados, no son capaces de localizar la pista olorosa de las verdaderas hembras y se impiden muchísimos acoplamientos. Las recientes experiencias indican que este sistema de lucha biológica puede reducir hasta un 60 % la cantidad de insecticida a emplear;

—otra aplicación a destacar del papel de los mediadores químicos identificados por los insectos es la que se refiere a la polinización de los vegetales.

Los mecanismos que presiden estos fenómenos necesitan de la intervención de señales emitidas por dos fuentes: el vegetal (alomonas) y el insecto (feromonas). Los aromas que emite el vegetal atraen al insecto, éste visita las flores y se carga de polen. Si recibe entonces una recompensa en forma de alimento (polen y néctar), continúa su visita —la frecuencia de las visitas es directamente proporcional a la calidad del alimento y a la cantidad que recibe— y asegura así el transporte del polen de planta a planta. Un fenómeno de esta clase es un factor de cruzamiento genético que permite a las especies vegetales perpetuarse y constituye, además, un aspecto importante de la rentabilidad de ciertas producciones agrícolas (cereales, cultivos frutales, leguminosas, oleaginosos, etc.). Pero, para que estos fenómenos de polinización por los insectos sean eficaces, es necesario que los insectos sean informados, por una parte, por sus congéneres, que ya han visitado el cultivo, de su localización y de su interés como fuente de alimento, y que, por otra parte, haya la cantidad suficiente de individuos para satisfacer las necesidades de la polinización de cultivos de determinadas dimensiones. La reunión de los insectos de la especie polinizadora se asegura mediante feromonas (sexuales, reales, de agregación, de alarma, etc.) que controlan varios comportamientos de estos insectos. Desde el punto de vista práctico, las feromonas de síntesis pueden servir, por ejemplo, para aumentar la concentración de insectos en los cultivos que hay que polinizar.

(3) L. Sreng, *C.R. Acad. Sci. Paris*, Serie D, *289*, 687, 1979.
(4) E. Priesner, *Z. Vergl. Physiol.*, *61*, 263, 1968.
(5) K.E. Ernst, *Z. Zellforsch.*, *94*, 72, 1969.

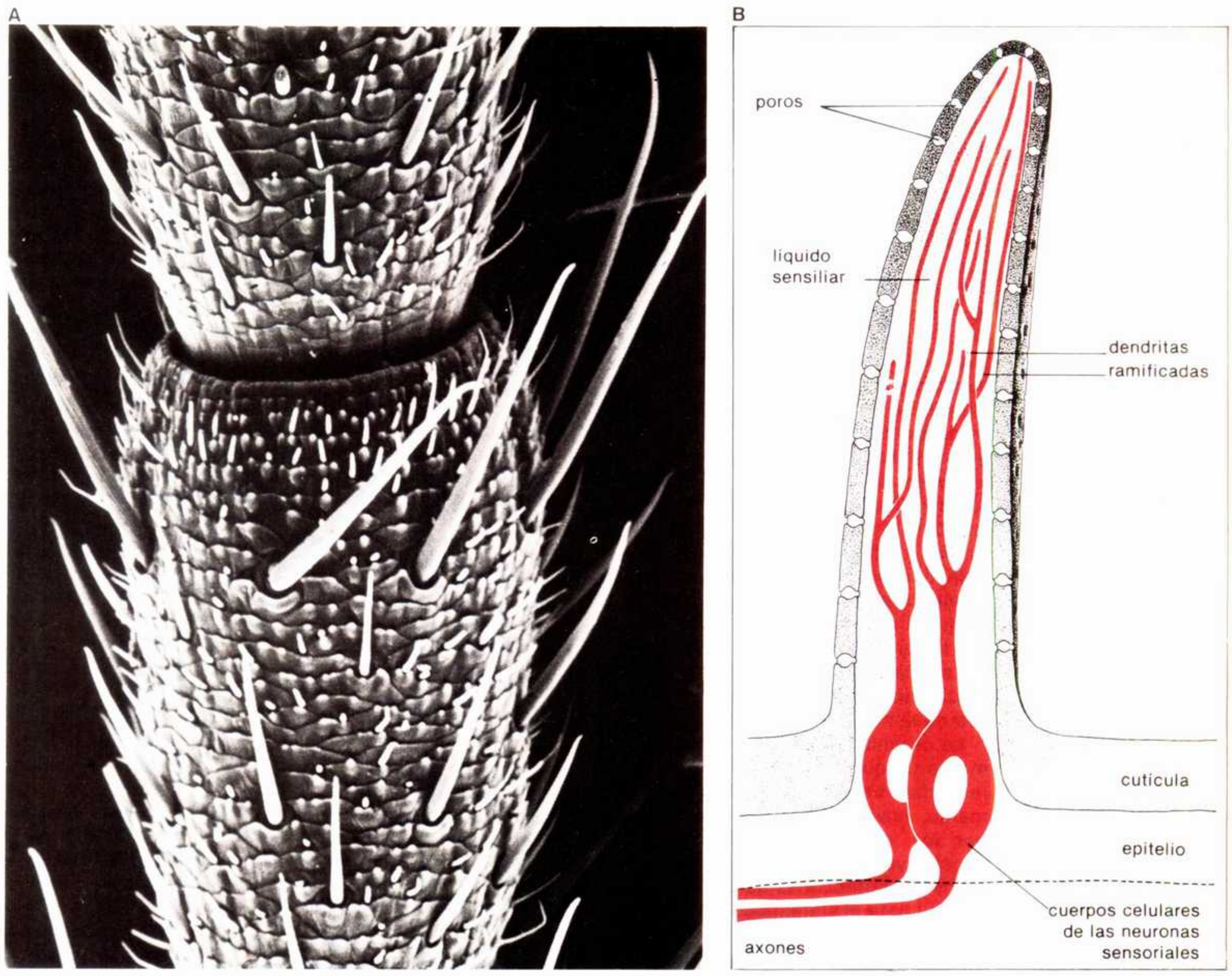



Figura 4. **La antena es el soporte de los órganos del sentido del olfato.**
A. **Esta foto, obtenida por microscopia de barrido, muestra el equipo sensorial de un fragmento de antena (los segmentos 45 y 46 de la cucaracha *Nauphoeta cinerea*). Las sedas más pequeñas representan los detectores químicos puramente olfativos. Las sedas más largas son estructuras de detección gustativa y mecánica: la base de estas sedas está articulada en la cutícula de la antena y poseen en el ápice una sola perforación** (Foto M. Lesourd, Instituto Pasteur; X 800).
B. **Las sedas sensoriales olfativas, o sensilios olfativos, poseen una pared cuticular con numerosas perforaciones. La luz está llena de una sustancia acuosa que contiene mucopolisacáridos. La seda está inervada por una o varias células nerviosas, neuronas bipolares típicas, con un polo dendrítico y otro axonal. La parte dendrítica generalmente está ramificada, aumentando así de forma considerable la superficie que se expone a las moléculas olorosas. El axón está en conexión directa con el sistema nervioso central. Los axones de todos los neurorreceptores discurren paralelos hasta el sistema nervioso central, formando el nervio sensorial de la antena.**

naciones o, sobre todo, sedas), que constituyen las estructuras responsables de la detección de las diferentes modalidades sensoriales. Pueden encontrarse agrupados en áreas delimitadas de la antena o bien repartidos a lo largo de ésta, pero no al azar. Según sea el modo de vida del insecto una de las modalidades sensoriales puede dominar sobre las demás. Es el caso particular de ciertos «insectos especialistas» en los que la antena, en conjunto, puede ser comparada a un órgano olfativo, ¡especializado en la detección de un solo tipo de señal! Frente a estos casos extremos, los insectos que en el curso de la evolución han conservado múltiples sensibilidades químicas («insectos generalistas») poseen con frecuencia equipos olfativos de la antena variados, tanto en el aspecto de la morfología de las estructuras de detección, como en el de la especificidad y sensibilidad de los receptores sensoriales; tal ocurre con las hormigas y las cucarachas.

### La recepción de la señal: un problema de biología molecular

Todos los sensilios olfativos poseen una pared cuticular con numerosas perforaciones. A través de ellas penetran las moléculas olorosas en el pelo o la seda. La luz de cada sensilio contiene una sustancia acuosa —el líquido sensiliar[5]— de naturaleza semejante al mucus del sistema olfativo de los vertebrados. El pelo está inervado por una o varias células nerviosas, las neuronas bipolares, cada una con una expansión hacia la periferia (dendrita) y otra hacia el sistema nervioso central (axón).

Cada prolongación dendrítica está ramificada, y todas las ramificaciones están inmersas en el líquido sensiliar; éste constituye así, para las moléculas estimulantes, una interfase entre el medio exterior y las membranas de las células nerviosas. Teniendo en cuenta las ramificaciones de las dendritas, la superficie expuesta a las moléculas aumenta de forma considerable. En el polo opuesto, el axón conecta directamente la neurona sensorial (neurorreceptor)

**Dos tipos de células sensoriales: las que detectan olores complejos y las que reconocen una sustancia precisa o feromona.**

con el sistema nervioso central. Todos los axones de los neurorreceptores transcurren paralelos hasta el sistema nervioso central, formando el nervio sensorial de la antena.

La membrana de las dendritas está equipada con estructuras macromoleculares, los receptores de membrana, a nivel de los cuales se admite que se produce la identificación específica del estímulo. Cuando la parte activa de la molécula se acopla a un receptor provisto de un punto admisor para esa parte activa, puede producirse una interacción, más o menos específica y de corta duración. Este estímulo entraña un cambio en la permeabilidad de la membrana, que se traduce localmente en un fenómeno de despolarización. La suma de estas variaciones locales puede llegar a producir la emisión de un potencial de acción («señal eléctrica») que se propaga a lo largo del axón, hasta el sistema nervioso central. Dicho de otra forma, el lenguaje por el cual las células nerviosas traducen sus reacciones en estímulos se manifiesta bajo la forma de una modificación de la actividad espontánea de la neurona (V. fig. 5).

La organización anatómica del sistema es tal que todos los neurorreceptores olfativos, estimulados simultáneamente, envían una serie de mensajes por los canales independientes que constituyen los axones. El conjunto de todos los potenciales de acción, propagados hasta el sistema nervioso central en un momento dado por todos los neurorreceptores estimulados simultáneamente por un «olor X», es el que constituye el mensaje sensorial o «imagen sensorial periférica del olor X».

### Codificación olfativa: ¿células generalistas o células especialistas?

La identificación de un olor consiste, pues, en una primera etapa de detección diferencial de las señales químicas, realizada a nivel de los sensilios más o menos especializados. Como ya hemos visto, la propagación hacia el cerebro de los potenciales de acción que constituyen el mensaje olfativo es el resultado de una interacción específica entre una «molécula de perfume» y un sistema receptor de la neurona sensorial olfativa.

La segunda serie de pasos indispensables para que el insecto pueda reconocer un olor está constituida por la forma en que los neurorreceptores de la antena codifican las informaciones olfativas. ¿Cuáles son las propiedades de las células sensoriales que les permitirán poner una «etiqueta» a los elementos del olor detectado, etiqueta que llevará las marcas de calidad y cantidad ¿(intensidad de la señal)? Los principios de la codificación olfativa se estudian mediante técnicas electrofisiológicas. Estas técnicas consisten en medir, con la ayuda de microelectrodos, la actividad de una neurona única estimulada por cualidades olorosas ensayadas a diversas concentraciones (V. fig. 5). Por estos métodos se distinguen dos tipos de células sensoriales (V. fig. 6): las células con tendencia generalista y las de tendencia especialista. El conjunto de células generalistas detecta normalmente olores complejos, como los olores del alimento. Las células especialistas se utilizan para la detección de las feromonas y de los compuestos del complejo odorífico feromonal.

En el grupo de las generalistas, cada una de las neuronas sensoriales tiene un espectro cualitativo de reacción más o menos amplio, es decir, reacciona ante compuestos de naturaleza química más o menos alejada. Los diversos espectros de reacción se superponen más o menos parcialmente, y el conjunto elabora un sistema cuyo poder de discriminación olfativa es generalmente elevado, o sea que es capaz de reconocer numerosos olores. Este sistema presenta la ventaja de ser económico, puesto que permite a un pequeño número de neuronas distinguir eficazmente varias moléculas volátiles estimulantes diferentes (a menudo presentes simultáneamente). Está particularmente extendido en los insectos cuyo ambiente oloroso es rico y variado. Esta forma de codificación de la calidad olfativa es semejante a la que utilizan los vertebrados, que ha sido estudiada en el laboratorio de electrofisiología de la Universidad de Villeurbanne por el equipo de André Holley y sus colaboradores.

### El buqué alimenticio: ¿plátano, manzana u «olor de fruta»?

Los olores de los alimentos usualmente son identificados por este tipo de codificación generalista. En general, son complejos, y las proporciones, e incluso la naturaleza, de los diversos compuestos de un alimento dado no son siempre muy estables. Este es el caso, por ejemplo, de los olores de las frutas cuya variedad, estado, período de recolección, duración de almacenaje, etc. son parámetros que pueden modificar en mayor o menor proporción, y a menudo rápidamente, el número y la intensidad (concentración de los productos volátiles) de las sustancias olorosas que, asociadas, concurren para definir el «olor de la fruta».

Cierto numero de estudios, entre ellos los efectuados en el laboratorio de Jürgen Boeckh en la Universidad de Ratisbona (RFA) por H. Sass,[6] se han dedicado a evaluar las respuestas de las

## 2. Comunicación química y técnicas de análisis

■ Los estudios que pretenden poner de manifiesto los diversos aspectos de la comunicación química son necesariamente pluridisciplinares, ya que implican:
—un conocimiento a fondo del comportamiento de las especies estudiadas;
—la localización de la (o las) glándula (s) secretora (s) del mediador químico (disección, homogenado de tejidos, histología y microscopia electrónica);
—la extracción de los productos de secreción.

Si el origen de los productos emitidos es desconocido, se recurre generalmente a la captación con trampa: se coloca un número elevado de insectos en un recinto atravesado por una corriente de aire, y los productos volátiles emitidos se recogen (a la salida del recinto) en un soporte sólido, colocado en pequeñas columnas de vidrio. Éstas se colocan después en un horno (operación de desabsorción), y una corriente de nitrógeno arrastra los productos volátiles desabsorbidos hasta capilares sumergidos en nitrógeno líquido.

En cada paso, se ensayan las fracciones que se han aislado (pruebas de comportamiento en olfatómetro y pruebas electrofisiológicas). Un primer análisis con cromatografía de gases permite conocer el grado de complejidad de la secreción. Si la mezcla resulta ser simple (tres o cuatro productos), se analiza directamente en un cromatógrafo de gases y espectrómetro de masas (GC-MS).

En el caso de las mezclas complejas, la cromatografía líquida de alta resolución (H.P.L.C.) permite separar las diferentes fracciones que se ensayan a continuación en olfatometría o electrofisiología. Entonces, se analizan las fracciones activas por GC-MS. Después, se sintetizan los productos (si no existen en el comercio) y, a continuación, se ensayan solos o en mezclas para determinar la verdadera naturaleza de la mezcla feromonal.

Las primeras feromonas sintetizadas han sido comercializadas por la firma Zoecon (Palo Alto, EE.UU.). Hoy en día, en Francia, el laboratorio de mediadores químicos (INRA-CNRS) —distrito de Brouessy en Saint-Rémy-les-Chevreuse— sintetiza feromonas que se utilizan en diversas estaciones de aplicación del INRA.

(6) H. Sass, *J. Comp. Physiol.*, *128*, 227, 1978.

neuronas olfativas de las antenas de cucarachas estimuladas por olores de alimentos. Los datos obtenidos sugieren que la codificación calificativa de ciertas fuentes de alimento, compuestas de productos muy volátiles, se efectúa según un sistema generalista de este tipo, con espectros de reacciones más o menos amplios y superpuestos. Destaca en estos estudios el que los olores de manzana, naranja, limón, plátano, pomelo, etc., son codificados indistintamente por neuronas periféricas como «olor de fruta». Dicho de otra forma, no existe una discriminación sutil entre los olores de frutas diferentes. Cada olor es el resultado de la asociación de varias decenas o centenas de compuestos altamente volátiles. Algunos de estos compuestos tienen estructuras relativamente simples: alcoholes de cadena corta, aldehídos, ácidos grasos, ésteres y otros compuestos diversos son comunes a distintas frutas (manzana y plátano, por ejemplo), lo que puede explicar de un modo parcial la falta de una discriminación sutil.

Los análisis químicos de estas mezclas alimenticias comparados con los espectros de reacción de las neuronas olfativas muestran que cada fuente olorosa contiene compuestos presentes en el espectro de reacción de varias células. Demuestra, incluso, que cada célula puede contener en su espectro los compuestos aromáticos de diversas fuentes de alimento. En resumen, la codificación periférica de los olores de estos alimentos constituye una imagen de contornos muy borrosos.

Esta imagen «olor alimento X» es la que llega a captar el sistema nervioso central. Así, estas neuronas de la antena elaboran una imagen sensorial, no por detección de un pequeño número de olores específicos, sino mediante un conjunto complejo de excitaciones inducidas por aromas relativamente poco específicos.

Aunque los datos sean aún muy dispersos e incompletos, es probable que otras sustancias volátiles complejas, implicadas en las funciones vitales del insecto (olores de colonias, de nidos, etc.), sean detectadas y codificadas de forma semejante a la descrita. Sin embargo, en contradicción con los datos precedentes, los resultados de las pruebas de comportamiento demuestran que estos mismos insectos son capaces normalmente de discriminar a la perfección cada una de estas fuentes de alimento («naranja», «manzana» o «plátano»). Es, pues, verosímil que sea a nivel del mismo cerebro donde se efectúa el trabajo de reconocimiento específico de cada una de estas fuentes volátiles (se han encontrado, en efecto, «células sensoriales para la naranja»,

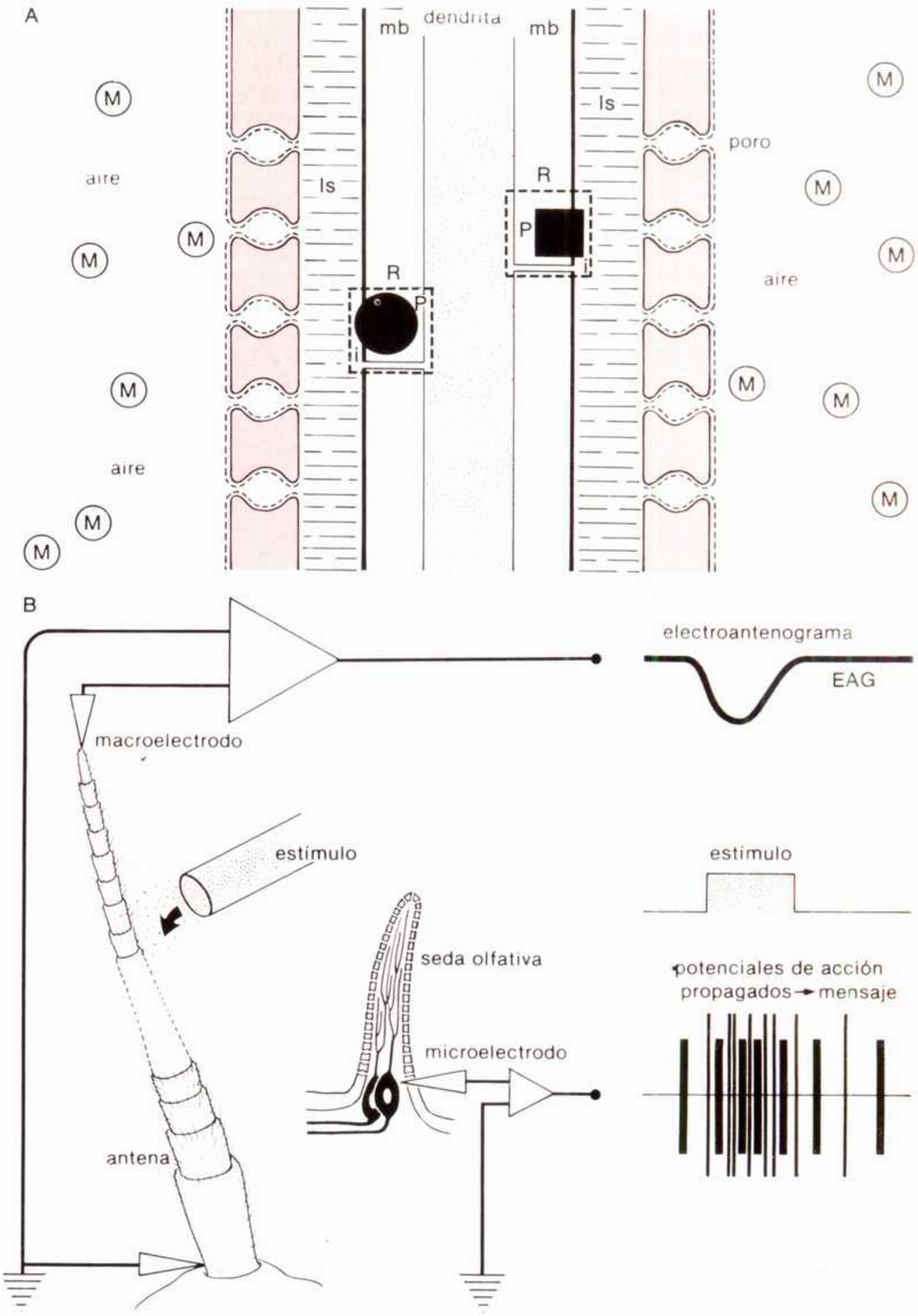



Figura 5. A. **Las perforaciones de la cutícula constituyen los lugares de acceso de las moléculas del estímulo (M) a las membranas de las dendritas (mb) situadas en el pelo o seda. Estas membranas están equipadas con receptores (R), a nivel de los cuales se efectúa la identificación del estímulo. Cuando la parte activa de la molécula se une a un receptor provisto de un lugar admisor para esta parte, se produce una interacción específica y de corta duración. Un hecho de este tipo implica un cambio de permeabilidad de la membrana, que se traduce en un fenómeno de despolarización. La suma de estas despolarizaciones locales puede conducir a la emisión de un potencial de acción que se propaga a lo largo del axón hasta el sistema nervioso central.**
B. **Se han utilizado dos tipos de técnicas electrofisiológicas para el estudio de los neurorreceptores olfativos. El electroantenograma (EAG) consiste en registrar un potencial lento correspondiente a la suma de los potenciales de los receptores de todas las neuronas estimuladas al mismo tiempo. La amplitud del potencial registrado es reflejo de la sensibilidad conjunta de estos neurorreceptores. Ésta es proporcional a la concentración de moléculas estimulantes transportadas por el aire.**
**El método de los registros celulares consiste en medir, con ayuda de microelectrodos, la respuesta unitaria de una neurona estimulada. Dicha respuesta está constituida por una serie de señales eléctricas (potenciales de acción), que se propagan hasta el sistema nervioso central. La amplitud de las señales propagadas es característica de cada neurona, lo cual permite analizar el mensaje transmitido a partir de un sensilio inervado por varias neuronas. (Estas señales contienen todas las informaciones espaciales y temporales, cualitativas y cuantitativas, requeridas por el cerebro para una identificación global de un mensaje específico.)**

## ¿Cómo trata el cerebro una información borrosa y la utiliza para desencadenar un comportamiento concreto?

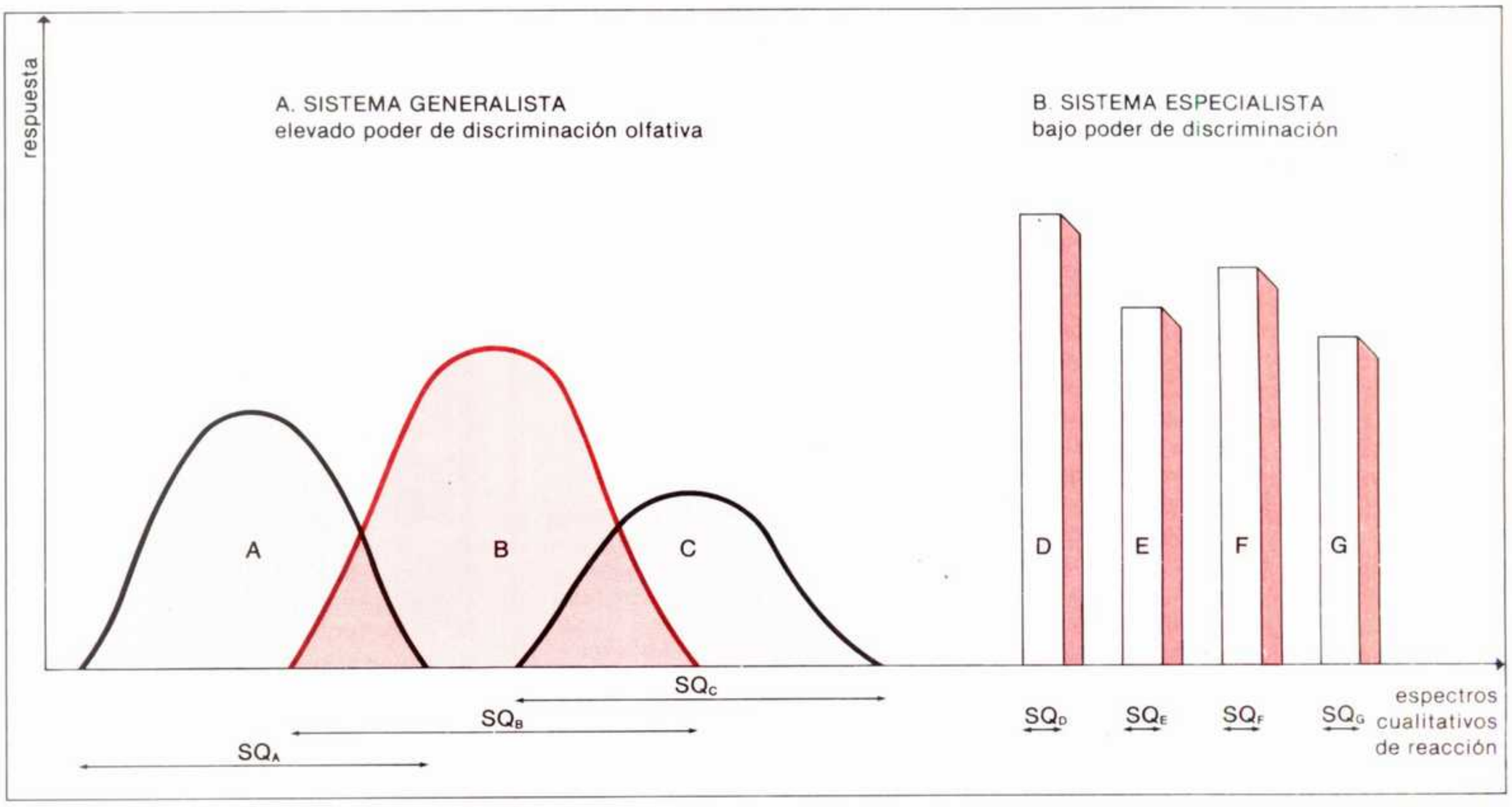



Figura. 6. **Este esquema representa los dos sistemas posibles de detección de las sustancias olorosas.**
A. **El sistema generalista, en el que los espectros cualitativos ($SQ_A$, $SQ_B$, $SQ_C$) de los diversos neurorreceptores (A, B, C) se superponen más o menos, induciendo un elevado poder de discriminación olfativa del conjunto del sistema.**
B. **El sistema especialista, en el que cada neurorreceptor (D, E, F) tiene un espectro cualitativo ($SQ_D$, $SQ_E$, $SQ_F$) estrecho y que no se superpone, que confiere al sistema, en el plano cualitativo, un débil poder de discriminación olfativa.**

«células para el plátano», etcétera, situadas en el deutocerebro).

### El complejo odorífico feromonal

Junto a este sistema «generalista», existen células que poseen un elevado grado de especificidad frente a ciertos estímulos olfativos. Por regla general, estas células sirven para la detección de las feromonas (V. fig. 7). Cuando son sensibles casi exclusivamente a uno u otro de los compuestos del complejo odorífico feromonal, se las califica de «especialistas verdaderas». El espectro de reacción de cada neurona es estrecho y los diversos espectros de las células especialistas de un mismo sistema son independientes (V. fig. 6), lo que confiere al conjunto del sistema un poder olfativo discriminante extremadamente pequeño, capaz de reconocer sólo algunos olores. Por el contrario, si este sistema es poco discriminativo desde el punto de vista olfativo, es particularmente adecuado para la detección de concentraciones muy bajas (del orden de nanogramos) de las moléculas para las que está especializado.

La regla general es que un «sensilio especialista» está equipado con una o varias neuronas, cada una de las cuales es altamente sensible y específica para uno de los componentes del «complejo» feromonal. Por ejemplo, una mezcla feromonal compuesta de las fracciones A + B + C será detectada por células diferentes: A por la célula a, B por la b, C por la c.

Si sabemos que cada una de estas células transmite su mensaje específico al sistema nervioso central (cualitativa y cuantitativamente) por un canal independiente, el «reconocimiento global» del mensaje (que sólo, y en las proporciones perfectamente definidas de cada compuesto, tiene una significación para el animal y entrañará una modificación de su comportamiento o de su fisiología) sólo podrá hacerse en la etapa superior a nivel del cerebro.

### Imágenes borrosas

Los insectos generalistas están provistos simultáneamente de sistemas generalistas y de sistemas especialistas de detección de moléculas volátiles, mientras que los insectos especialistas están equipados sobre todo con un sistema especialista (existen, sin duda, numerosos pasos intermedios, desde los insectos con tendencia generalista a los insectos con tendencia especialista). En las cucarachas, que poseen sensibilidades y especificidades químicas múltiples y variadas, coexisten ambos sistemas. Como cada célula constituye un canal independiente que transmite un mensaje único al cerebro, y dado que la información total no es transmitida por un único canal, sino por un conjunto de ellos, la señal que alcanza el cerebro es muy compleja. Son lo que podría llamarse «imágenes sensoriales borrosas». Sin embargo, todas las informaciones referentes a calidad, cantidad, localización y duración del estímulo olfativo están presentes y hacen que cada mensaje sea directamente utilizable por el sistema nervioso central.

### La lectura del mensaje

¿Cómo «leerá» el cerebro esta imagen borrosa que se le transmite? ¿Cómo es tratada, transformada y estabilizada a fin de ser empleada para desencadenar un comportamiento? ¿A qué nivel del sistema nervioso central se sitúa el reconocimiento específico del mensaje?

Tras recibir un estímulo adecuado, cada neurona sensorial de la antena transmite un mensaje nervioso por un canal independiente hasta el sistema nervioso central, a nivel del deutocerebro (equivalente al bulbo olfativo de los vertebrados). Una organización de este tipo plantea tres cuestiones esenciales: ¿Hay tantas «proyecciones» a nivel del deutocerebro como neuronas implicadas en la elaboración del mensaje sen-

sorial de la antena? ¿Es posible que el contenido cualitativo de la información olfativa, transmitido por el conjunto de las neuronas activadas simultáneamente, sea descifrado en cada proyección?. Y, por último, ¿es posible que este código permanezca estable a pesar de las variaciones de la intensidad del estímulo?

Las investigaciones efectuadas a fin de responder a estas cuestiones se han emprendido sólo desde hace algunos años, y faltan por realizar numerosas experiencias. No obstante, ya es posible proponer, sobre bases hodológicas y neurofisiológicas, unos elementos de respuesta.

Así, se ha podido demostrar que existe una importante convergencia (concentración) de las neuronas sensoriales de la antena sobre las neuronas del deutocerebro (V. fig. 8). Esta convergencia determina una reducción considerable del número de canales que transportan las informaciones sensoriales de la antena. En la cucaracha, por ejemplo, existen unas ciento cincuenta mil neuronas sensoriales en cada antena, mientras que hay unas mil a nivel del deutocerebro ipsilateral. De estas mil, dos tercios son de las interneuronas y sólo un tercio llega a los centros superiores del cerebro (V. fig. 8).

En consecuencia, el papel de esta convergencia es, por una parte, amplificar la señal y contrastarla respecto al «ruido de fondo» del sistema, lo cual permite a una señal de intensidad débil inducir una imagen deutocerebral definida, mientras que la imagen periférica sería borrosa e imprecisa (como es el caso, en particular, de las señales feromonales y de otros mensajes de débil intensidad).

Por otra parte, al ser esta convergencia esencialmente espacial (implicando axones cuyas neuronas están situadas en regiones diferentes de la antena), puede tener un papel integrador: por ejemplo, identificación global de la mezcla feromonal gracias a una convergencia cualitativa de las diversas moléculas químicas de la mezcla; y también en la integración de informaciones conjuntas y complementarias concernientes a la naturaleza de las moléculas volátiles y al flujo de aire que las transporta, debido a una convergencia de modalidades sensoriales diferentes, químicas y mecánicas.

La convergencia tiene lugar en el deutocerebro, a nivel de «glomérulos» que constituyen las áreas de contacto sináptico entre las neuronas de la antena y las neuronas del cerebro, es decir, las deutoneuronas.

Debido a esta organización, el mensaje olfativo que llega al deutocerebro es una información que ha sufrido el mínimo de reducción. Hay pocas posibilidades de que sea deformada a continuación, dado el carácter relativamente aleatorio de las conexiones entre las neuronas del deutocerebro y las del nivel superior del cerebro, o sea, el protocerebro.

Una vez amplificada e integrada por los fenómenos de convergencia espacial, tanto cualitativa como cuantitativamente, la imagen sensorial olfativa, borrosa en su origen, va a contrastarse aún más, perfilándose con precisión los contornos de la imagen central, debido, por una parte, a la inhibición lateral ejercida por las interneuronas, y por otra, a fenómenos de autoinhibición, que mantienen la estabilidad del mensaje formado, a pesar de las variaciones permanentes de intensidad, en la entrada del sistema.

El deutocerebro constituye así un sistema de formación de ciertos mensajes olfativos, aunque parece que los fenómenos de plasticidad y memorización de las informaciones olfativas deben producirse en la etapa superior, a nivel

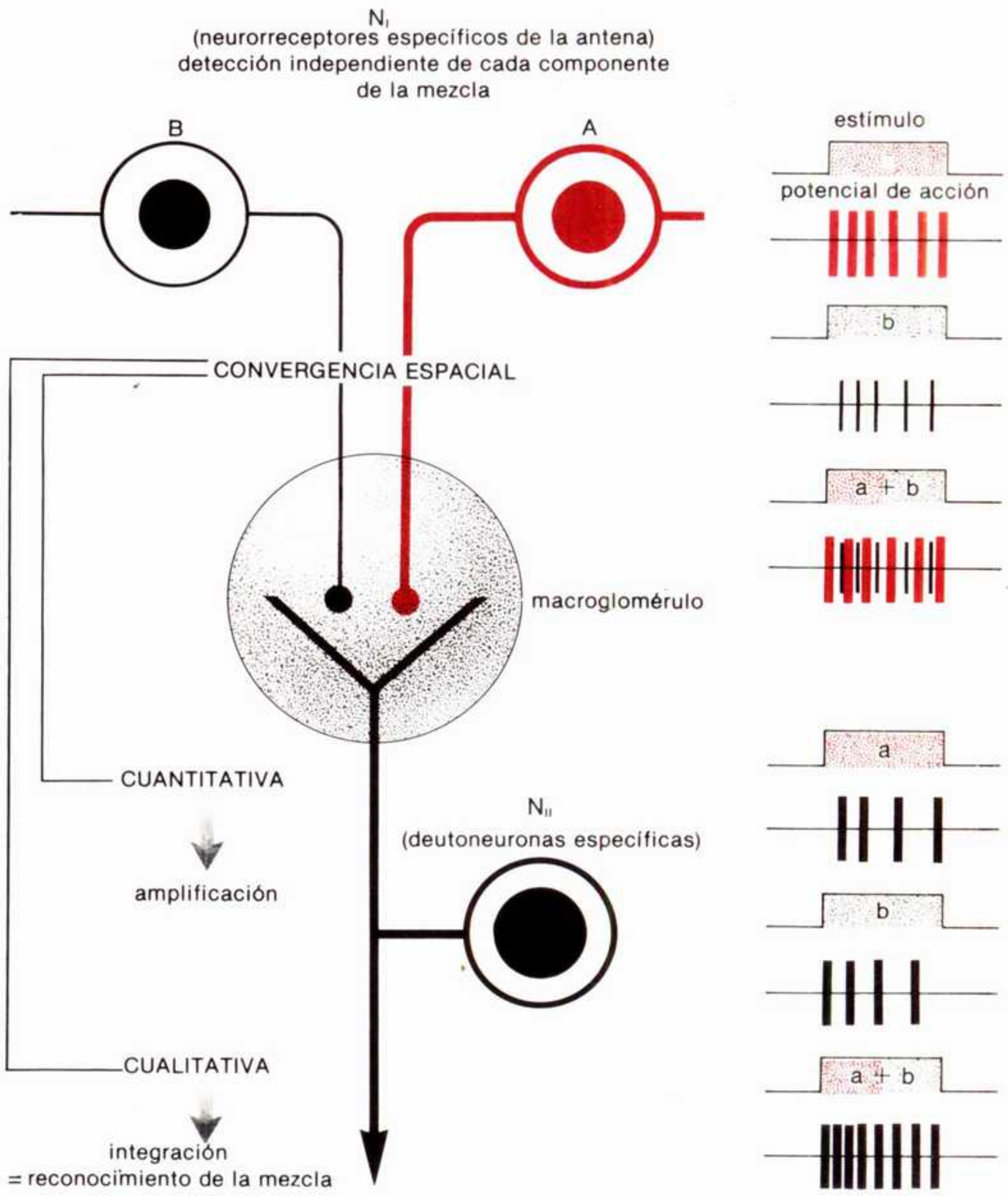



Figura 7. **El reconocimiento del complejo olorífico feromonal se realiza mediante un sistema de neurorreceptores especialistas.**
**A nivel de la antena, los neurorreceptores específicos ($N_I$) A y B pueden inervar el mismo pelo o pelos distintos, situados en regiones diferentes de la antena; sus espectros cualitativos son diferentes e independientes, lo que se traduce en potenciales de acción de amplitud, frecuencia y duración diferentes: el neurorreceptor A detecta el compuesto a y el neurorreceptor B el compuesto b.**
**A nivel del deutocerebro se produce una convergencia espacial de las neuronas sensoriales de la antena sobre las neuronas de la deutoneurona ($N_{II}$). Al mismo tiempo, ocurre una convergencia cualitativa y/o cuantitativa, que induce un mecanismo de integración y/o amplificación del mensaje feromonal. Así, una misma deutoneurona $N_{II}$ podrá ser estimulada a la vez por el compuesto a y por el b: el espectro cualitativo de esta deutoneurona será generalmente más amplio que el de las neuronas de la antena, y su sensibilidad superior. Este proceso se traducirá en un reconocimiento del mensaje feromonal por la misma deutoneurona.**

**Los insectos sociales reconocen una gran cantidad de olores; otros, como el gusano de seda, están muy especializados.**

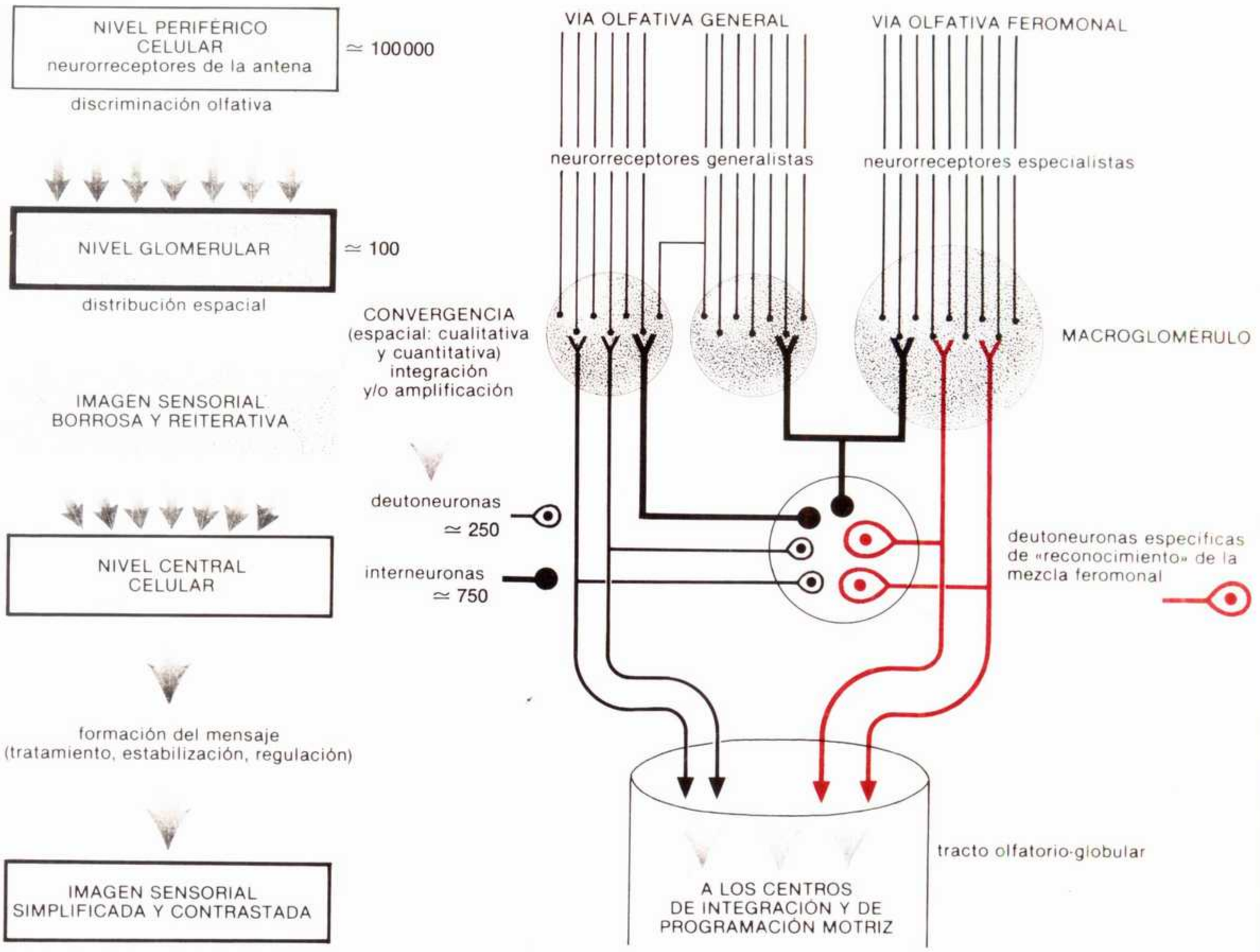



Figura 8. **Existen, al parecer, dos sistemas centrales de tratamiento y de reconocimiento de las mezclas olfativas: el sistema central *generalista* y el sistema central *especialista*, este último se ha desarrollado para el reconocimiento del complejo feromonal.**
**En ambos casos, la detección de las sustancias olorosas se realiza por las neuronas sensoriales de la antena. A nivel del deutocerebro se produce una convergencia de las neuronas de la antena a las neuronas del deutocerebro. Esta área de contacto sináptico constituye el denominado glomérulo. En el sistema especialista, los machos poseen un macroglomérulo, centro privilegiado de proyección de las informaciones feromonales. Esta organización espacial permite amplificar el mensaje olfativo, lo que implica la formación de una imagen deutocerebral definida, mientras que la imagen periférica era borrosa e imprecisa. La misión de la inhibición lateral, ejercida por interneuronas, es contribuir a perfilar los contornos de esta imagen. Los fenómenos de autoinhibición la estabilizan.**
**En el sistema generalista, parece que la memorización de las informaciones olfativas ocurre en la etapa superior, a nivel del protocerebro. En el sistema especialista, algunas deutoneuronas específicas reconocen por sí mismas la mezcla feromonal, pero, actualmente, no existe ningún dato sobre el futuro de este mensaje a nivel del protocerebro.**


(7) K. von Frisch, Belknap Press, Harvard, 566 p., 1967.
(8) E. Vareschi, *Z. Vergl. Physiol., 75*, 143, 1971.
(9) C. Masson, «Olfaction and Taste VI» (Le Magnen y Mac Leod ed.), IRL, London, p. 305, 1977.
(10) R. Menzel, I. Erber, T. Masuhr, «Experimental analysis of insect behaviour» (Barton Brown, ed.). p. 195, 1974.
(11) I. Chambille, J.P. Rospars, C. Masson, *Journal of Neurobiology, 11*, 135, 1980.
(12) J.G. Hildebrand «Insect neurobiology and pesticide action», p. 375, London Society of Chemical Industry, 1979.
(13) J. Boeckh y V. Boeckh, *J. Comp. Physiol., 132*, 235, 1979.


del protocerebro, en los cuerpos pedunculados.[7,8] Actualmente, existen pocos datos referentes a estos mecanismos de aprendizaje. No obstante, los que se han establecido y hacen referencia, por una parte, a la organización de los circuitos de neuronas implicados, y por otra, a su funcionamiento, apoyan dicha interpretación.[9,10]

### Un canal independiente para las feromonas

Las feromonas son captadas, traducidas y codificadas según las normas generales aplicables a todos los estímulos químicos, si bien la detección de sus moléculas se efectúa a nivel de estructuras especializadas por neuronas específicas (V. fig. 7); asimismo, su proyección central glomerular es específica. En efecto, nuestras investigaciones[11] han demostrado que el número, volumen, y posición de estos glomérulos son parámetros estables y que presentan un dimorfismo sexual. El macho posee un «macroglomérulo» diferenciado que parece estar implicado en el reconocimiento específico del mensaje feromonal.[12] En especial, ciertas deutoneuronas están encargadas de integrar específicamente la totalidad del «complejo» feromonal.[13] Aunque los datos experimentales en este campo son todavía poco numerosos, los que existen sugieren que ya a nivel del deutocerebro se forma una imagen neta del mensaje feromonal completo. Esta imagen contiene todos los elementos cualitativos y cuantitativos necesarios para desencadenar un comportamiento específico. No obstante, no se posee hasta ahora ningún dato sobre el devenir de este mensaje a nivel del protocerebro, ni tampoco se tienen datos precisos referentes a los mecanismos del control neuroendocrino del comportamiento desencadenado por estos mismos mensajes.

### Dos sistemas centrales

En resumen, los datos actualmente conocidos sugieren la coexistencia de dos sistemas centrales para el trata-

miento y reconocimiento de los mensajes olfativos, que, al parecer, funcionan de forma análoga y paralela (V. fig. 8). No existen aún datos experimentales suficientes para establecer todos los límites funcionales de estos dos sistemas, que proponemos llamar «sistema central generalista» y «sistema central especialista», en función de las analogías que hemos establecido al considerar tanto los modos de vida de los insectos, como sus sistemas de detección de las moléculas olorosas. ■

## Para más información:


■ M. Barbier, «Introduction a l'écologie chimique», (Colección de Ecología) (7), Masson, 1976.

■ M.C. Birch (ed.), «Pheromones», Ed. Elsevier, Amsterdam, 1974.

■ T. Eisner y E.O. Wilson, «Comportamiento animal», (Selecciones de Scientific American), 353-380, Ed. H. Blume, Madrid, 1978.

■ K. von Frisch, «La vida de las abejas», 237 p., Ed. Labor, Barcelona, 1976.

■ A. Gallego, «Feromonas», *Boletin Informativo* de la Fundación March, nº 70.

■ M. Jacobson, «Insect sex pheromones», Academic Press, Nueva York y Londres, 1979.

■ J. Le Magnen y P. Mac Leod, «Olfaction and Taste VI», I.R.L., Londres y Washington, 1977.

■ O. Mora, Tesis doctoral, Facultad de Medicina, Universidad Complutense, Madrid, 1977.

■ F.J. Ritter, «Chemical ecology and odour, communication in animals», Ed. Elsevier, Amsterdam, 1979.

■ L. Salem, «Molécule la Merveilleuse», Inter-Editions, 1979.

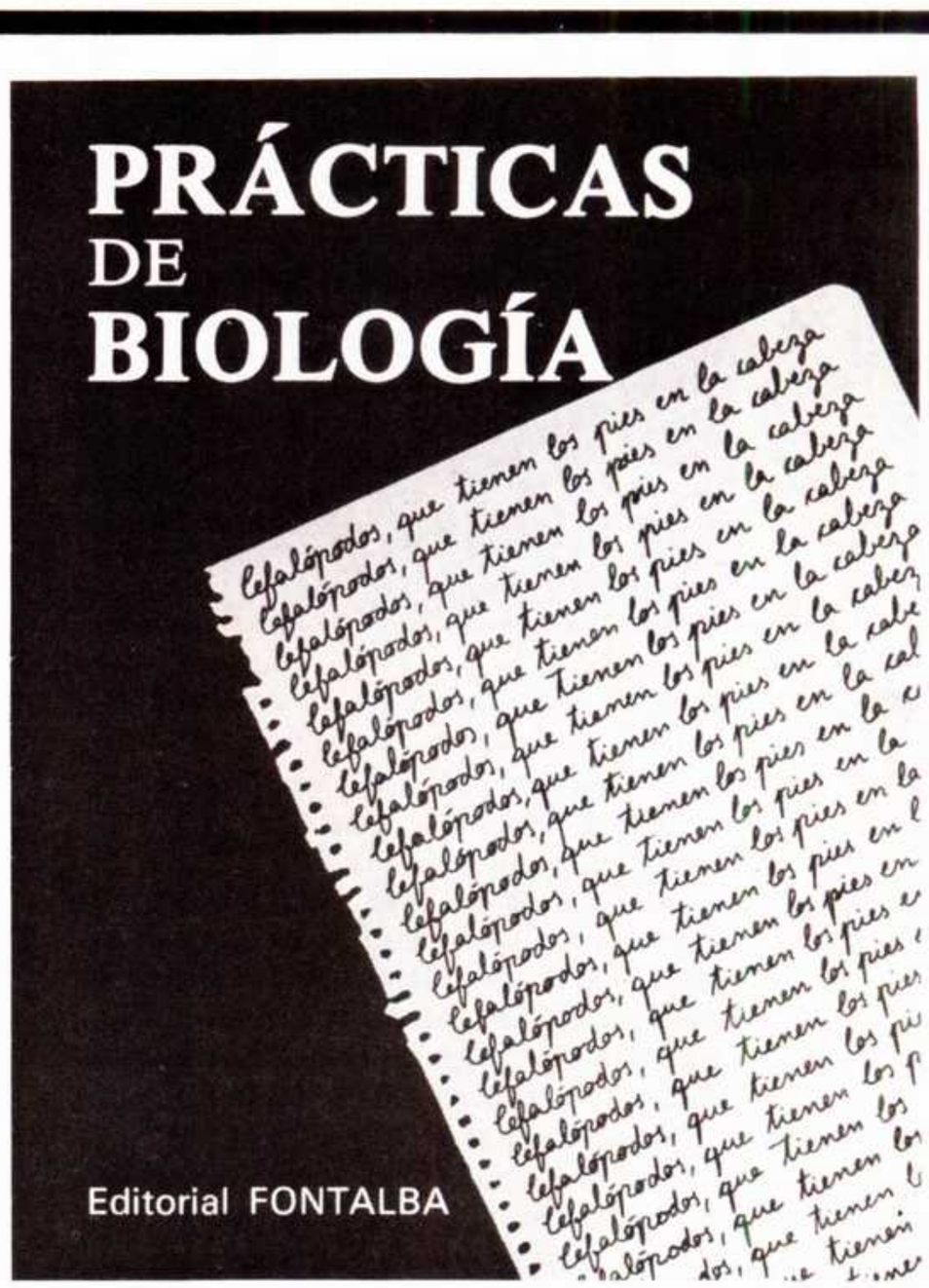
■ J.E. Sánchez Criado, Tesis doctoral Facultad de Medicina de la Universidad Complutense, Madrid, 1977.

■ J. van der Starre, «Olfaction and Taste VII», I.R.L., Londres y Washington, 1980.

■ H.H. Shorey, «Animal communication by pheromones», Academic Press, Nueva York, San Francisco y Londres, 1976.

■ H.H. Shorey y J.J. Mc Kelvey jr. (eds.), «Chemical Control of Insect Behavior», Wiley, Nueva York, 1977.






# Prácticas de Biología

J. Cuello, M. Hernández, J. Josa, J. Massegú, S. Sarquella, M. Ballesteros, M. Blas, J. Estany, F. Pereira y X. Martinez.
**Profesores de la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona.**

*Prácticas de Biología* es un manual de laboratorio para el estudiante de Biología en su primer curso de Universidad, tanto para la licenciatura en Ciencias Biológicas como en aquellas otras que incluyen cursos de Biología General en su primer año. En buena medida es también adecuado para los cursos de introducción a la Universidad.

Aunque la obra va dirigida al alumno, con el fin de aportarle los protocolos y la descripción de las técnicas para la preparación de materiales y el diseño de experiencias, *Prácticas de Biología* no es únicamente un manual de laboratorio. Su contenido incluye abundantes explicaciones de carácter teórico destinadas a hacer más comprensibles los ejercicios y experimentos propuestos. Asimismo, es de utilidad para el profesor por cuanto contiene una información concreta y suficiente sobre la obtención, cuidado, mantenimiento y preparación de los materiales necesarios para los ejercicios.

Una de las principales cualidades de *Prácticas de Biología* es la amplitud y diversidad de su temario, que puede adaptarse prácticamente a cualquier programa de biología general, tanto si en él predominan los aspectos biológicos, como los médicos. Por otra parte, la obra contiene numerosas y precisas orientaciones e informaciones para el trabajo de campo.

**Formato: 21 x 29 cms., cubierta plastificada. 284 páginas con 16 láminas a todo color. P.V.P.: 925 ptas.**

**Pídalo a su librero o contrarreembolso a:**

**Editorial Fontalba, s.a.** Valencia, 359 - 6.º 1.ª Barcelona-9 (España)

**Descifrar una mentalidad gracias al análisis de los trabajos y la maestría del artesano .**

# La destreza del artesano egipcio

■ Las hojas de cuchillo en sílex del Egipto predinástico constituyen, sin duda, un desafío lanzado a través de los siglos. El ejemplar de Gebel Arak (V. fig. 1), conservado en el Louvre, es una de las representaciones más bellas y puede afirmarse que se sitúa en el punto más álgido de la talla del sílex, aunque, rasgo curioso, es una de las raras piezas que aún no han sido reproducidas por los investigadores. Los estudios[1] realizados en el pasado se han referido casi siempre al análisis de las escenas que adornan el mango, mientras que sólo en contadas ocasiones se ha publicado algo sobre los métodos y técnicas de elaboración de estas obras maestras. Por esta razón intentamos, en 1979, una reproducción de estas piezas, y, hoy en día, somos capaces, gracias a las experiencias en la talla, de reproducir las secuencias de las diversas operaciones y técnicas que reflejan la pericia alcanzada por el artesano egipcio.

## En diez horas de trabajo, al menos cinco de pulido

Numerosos museos del mundo poseen en sus colecciones cuchillos egipcios de sílex, pero sólo unos veinte filos de hoja pertenecen a conjuntos datables. Su existencia se limita a un corto período de tiempo, que se sitúa alrededor del año 3200 antes de nuestra era, época en que reinó una cultura que se extendía uniformemente por todo el valle del Nilo. Poco más de un milenio más tarde, durante el Imperio Medio, los pintores egipcios representaron, en dos tumbas de Beni Hassan,[2] dos escenas consideradas ilustrativas de la talla del cuchillo, cuyos textos de la leyenda traducidos rezan de este modo: «golpear los cuchillos».

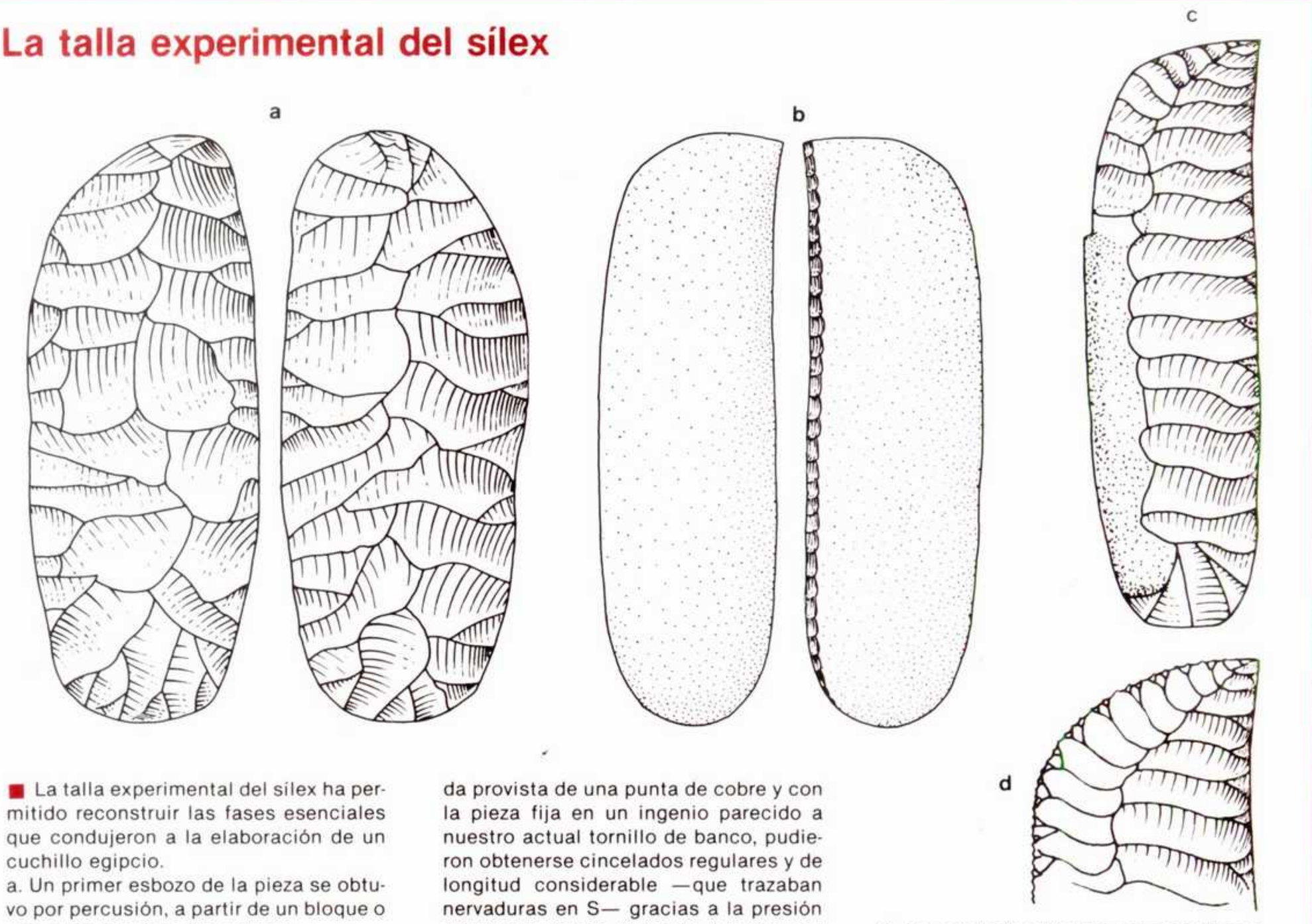
Interesante aunque discutible testimonio, ya que nada en la actitud de los personajes nos parece justificar esta afirmación. Estas pinturas murales no nos sirven de ayuda para comprender la elaboración de estas hojas por lo que todo quedaba por hacer. Hemos analizado y descifrado seis ejemplares procedentes del Louvre,[3] respecto a los que disponemos, desde hace algunos meses, de una ficha técnica completa. Para su elaboración, hemos seguido el siguiente razonamiento: todo objeto tallado en una roca dura conserva en sus menores detalles las huellas de las distintas operaciones técnicas que le han dado vida y forma definitiva. Esta lectura es única, cualquiera que sea la antigüedad u origen de la pieza; pero es preciso haber aprendido a leer, es decir, a descifrar cada acontecimiento de la génesis de una pieza tallada y a situarlo en su orden cronológico exacto.

Sin la aportación esencial de las experiencias en la talla, hubiéramos sido incapaces de identificar las cuatro fases esenciales de su elaboración tal co-

Figura 1. **Las hojas de cuchillos talladas en silex del Egipto predinástico son objetos planos (200 a 300 mm de longitud, 45 a 65 mm de anchura, 7 a 10 mm de grosor) con una cara pulida y la otra tallada. Su silueta es muy caracteristica. Cuando se observa la cara tallada, la parte redondeada (del mango) en el extremo del cuchillo tiene el borde derecho ligeramente cóncavo. El borde izquierdo, algo convexo, se arquea fuertemente en el cuarto superior hasta alcanzar el borde derecho siguiendo un ángulo recto. Salvo en la parte del mango (alrededor del cuarto inferior), este borde izquierdo es muy delgado y finamente denticulado. La muestra aquí representada mide 233 mm de longitud y procede del Departamento de Antigüedades Egipcias del museo del Louvre.**

(1) L. Braidwood, *Journal of Near-East Studies III*, p. 120-123 (1944). (B.-A.) Bradley. Newsletter of. lithie Technology, vol 1, nº 3, p. 2-5, (1972).
(2) F.L. Griffith, «Beni Hassan III», Londres, 1896, pl. VII-X.
(3) Nuestro más sincero agradecimiento a la señora C. Desroches-Noblecourt y al señor J.L. de Cenival, que nos han permitido el acceso a las colecciones del Departamento de Antigüedades Egipcias del museo del Louvre.

## La talla experimental del sílex




■ La talla experimental del sílex ha permitido reconstruir las fases esenciales que condujeron a la elaboración de un cuchillo egipcio.

a. Un primer esbozo de la pieza se obtuvo por percusión, a partir de un bloque o una placa de sílex de calidad.

b. Este bosquejo fue pulido por ambas caras y la silueta definitiva se consiguió al mismo tiempo que se preparaban los bordes para los cincelados definitivos.

c. Por medio de una herramienta, sin duda provista de una punta de cobre y con la pieza fija en un ingenio parecido a nuestro actual tornillo de banco, pudieron obtenerse cincelados regulares y de longitud considerable —que trazaban nervaduras en S— gracias a la presión efectuada desde el borde derecho del mango y bordeando la pieza en sentido contrario a las agujas del reloj. En algunos cuchillos subsisten aún en esta cara huellas de pulido mientras la otra queda pulimentada.

d. La regularización de las nervaduras cerca del borde derecho y la minúscula denticulación del borde izquierdo hasta el mango constituyen la última operación efectuada, también mediante presión.

mo se encuentran en cada ejemplar de modo constante. Asombra constatar cómo la elaboración de una hoja de 20 a 30 cm de longitud, pulida por una cara y tallada por la otra, requiere diez horas de trabajo, cinco de éstas consagradas al pulido (véase el recuadro).

### Una complejidad inútil pero no un juego de paciencia

Las largas nervaduras en S que otorgan belleza y prestancia a estas piezas no añaden nada a su eficacia, asegurada simplemente por la denticulación. Sin embargo, para obtener largas nervaduras paralelas, es necesario disponer de una superficie ligera y regularmente bombeada, y sin ninguna aspereza, aunque esto nada modifica la secuencia de las operaciones. Sólo después de la talla, será preciso emplear largas y penosas horas en pulir. Esta complicación inútil sería incomprensible si no estuviéramos convencidos, por las numerosas pruebas de que disponemos, de la importante motivación estética del tallista. Si se añade el sentido del ritmo, apreciable en los largos retoques y cuantificable casi al milímetro, tanto en los espaciamientos como en las longitudes, se apreciará la excepcional maestría que ha presidido la fabricación de los cuchillos. No se trata, entonces, de artesanado sino realmente de un arte refinado.

Al contrario de la prehistoria, en la que los objetos de piedra constituyen la casi totalidad de los testimonios de los que dispone el historiador, la protohistoria egipcia posee una fabulosa reserva de objetos de cerámica pintada, de peines de marfil, de agujas de hueso o cobre, de mangos de puñales y paletas decoradas. Junto a todo esto, y en una evolución constante, se encuentra una variedad extraordinaria de documentos de piedra tallada que durante mucho tiempo han sido ignorados. La aparición y desaparición repentinas del cuchillo en cuestión podrá explicarse con certeza cuando sea posible situarlo dentro de la larga cadena de la evolución de la que parece constituir su momento culminante. Encontramos ya con anterioridad testimonios abundantes del prepulido, así como los finos cincelados a presión hallados en algunas piezas hendidas llamadas «colas de golondrina». Pero éstas no poseen aún la perfección técnica de los cuchillos, objetos del Egipcio predinástico y dinástico ya que, al menos hasta el Imperio Medio, este material sigue ampliamente en uso.

Sería, sin duda, interesante y enriquecedor ampliar estas experiencias sobre la talla a otros objetos hechos con sílex, ya que, tras lo que podría parecer un simple juego o la «paciencia» de un especialista, existe siempre una investigación dirigida a descifrar una mentalidad mediante un documento casi indestructible y, por ende, único.

*Béatrix Midant-Reynes y Jacques Tixier*[4].

(4) ERA nº28 del CNRS:

# La genética de una población humana

por André Chaventré y Laurent Degos

**André Chaventré** dirige un equipo de investigación, es director adjunto del Departamento de Genética de poblaciones del Instituto Nacional de Estudios Demográficos de Francia y profesor en la Universidad París I.
**Laurent Degos** es profesor agregado y dirige un equipo en el Instituto de investigación de las enfermedades de la sangre en el hospital Saint-Louis (Inserm U93. CNRS L8101).

**■ Hace tiempo que los Tuareg son famosos: son los legendarios «hombres azules» del Sahara. Ahora están en camino de aumentar su celebridad: una de sus tribus, los Kel Kummer, representa sin duda la primera población humana de la que se conoce la evolución acaecida en su patrimonio genético colectivo en el curso de los tres últimos siglos.**

**■ Hasta ahora, la genética de poblaciones se basaba, sobre todo, en modelos matemáticos y simulaciones con ordenador, si bien se corría el riesgo de alejarse de la realidad. Gracias al estudio de los Kel Kummer, se convierte también en una ciencia basada en la observación.**

**■ La observación de la evolución genética de los Kel Kummer ha resultado innovadora desde otro punto de vista: es el primer resultado obtenido gracias a la combinación de técnicas tan singulares como el estudio de las genealogías y la inmunogenética. Este trabajo es el fruto de una colaboración ejemplar entre investigadores del Instituto Nacional de Estudios Demográficos de Francia y el Laboratorio de Inmunogenética del Hospital Saint-Louis.**

■ En la naturaleza, los individuos que constituyen una especie se reagrupan en poblaciones, localizadas en diferentes territorios geográficos. En la medida en que éstos están delimitados por accidentes naturales (mares, cadenas montañosas,...), la reproducción de la especie se realizará, por regla general, casi exclusivamente entre individuos pertenecientes a la misma población. Los genes que forman el patrimonio genético de un individuo proceden la mitad de ellos del padre y la otra mitad de la madre. Todos los individuos de una población pueden, en principio, interfecundarse y aportar su contribución génica a la formación de nuevos individuos. Por ello, se puede considerar que el conjunto de los genes de todos los individuos de una población representa un patrimonio genético colectivo. Esto quiere decir que en el instante de su concepción un individuo que nace en el seno de una población determinada habrá sido dotado con una serie de genes extraída necesariamente de este patrimonio colectivo.

La genética de las poblaciones humanas o animales estudia las transformaciones que afectan al patrimonio genético colectivo de las poblaciones a lo largo de las generaciones. Ciertos genes se presentan de varias formas posibles en la naturaleza. Estas formas distintas se llaman alelos. Algunos alelos pueden desaparecer, otros tienden a mantenerse de manera preponderante. ¿Cuáles son los factores que determinan la desaparición o el mantenimiento de un determinado alelo? Puede tratarse de un puro azar, o del efecto de la selección natural, que elimina o favorece tal o cual gene. Puede tratarse también del movimiento de las propias poblaciones: migraciones, fusiones, escisiones, etcétera.

La genética de poblaciones se apoya ampliamente en modelos matemáticos para estudiar el papel de cada uno de los factores en la transformación de los patrimonios genéticos colectivos a lo largo del tiempo.

Uno de sus métodos preferidos es la simulación con ordenador: dada una población ficticia de *x* hombres y de *y* mujeres y dada una determinada proporción de nacimientos, de matrimonios y de defunciones, ¿cuántas generaciones serán necesarias para que sólo una variante genética concreta esté representada en la población? Seguidamente, pueden cambiarse las condiciones (por ejemplo, que la selección natural favorezca una variante de gene determinada) y realizarse nuevas simulaciones.

Es indudable que los resultados obtenidos son muy interesantes, pero el peligro de alejarse cada vez más de la realidad es grande; el número de factores que actúan en el mundo real es tan elevado que los modelos teóricos sólo pueden tener en cuenta una pequeña parte de la complejidad de los fenómenos estudiados: los parámetros que introducen resultan ser hipótesis simplificadoras que acaban proporcionando una caricatura de la realidad.

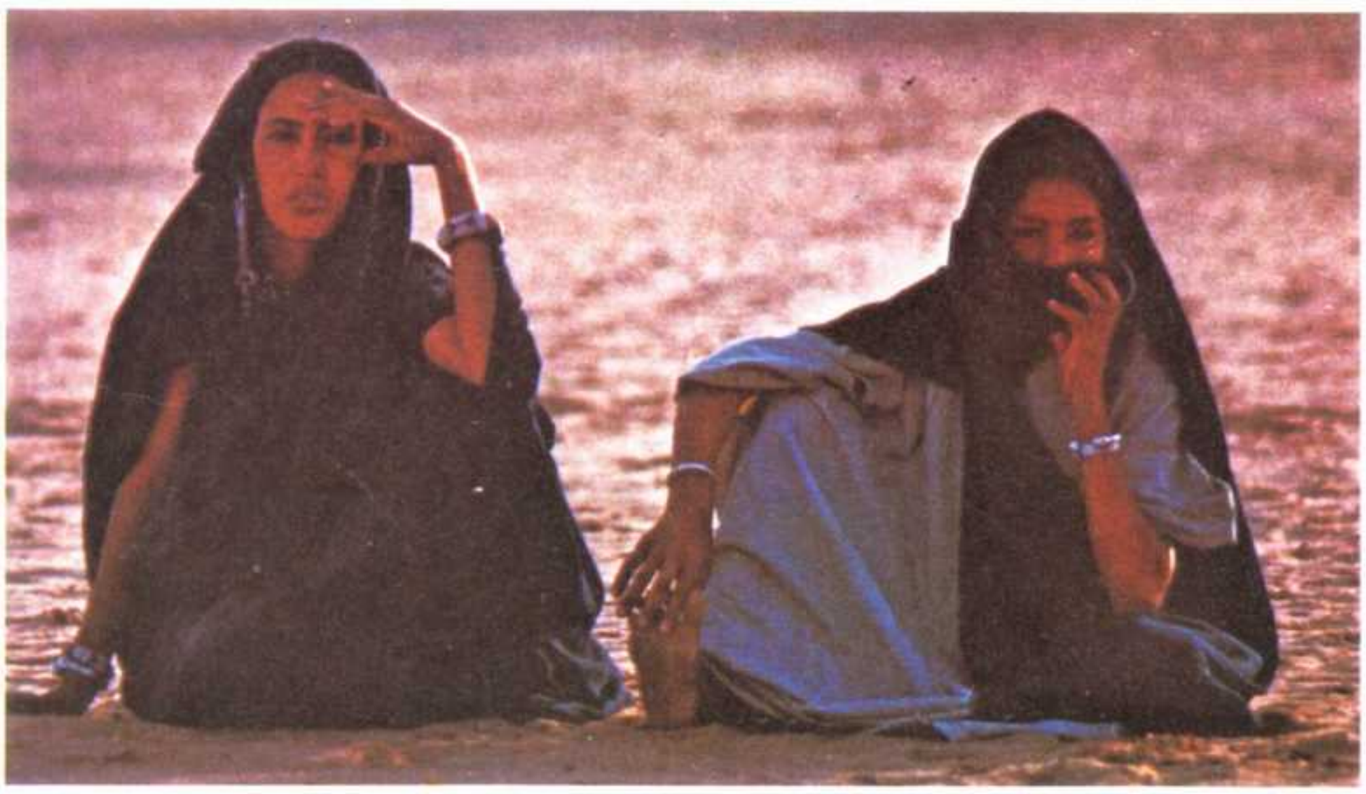
En genética de poblaciones es posible realizar encuestas demográficas. Éstas tienen la ventaja de aportar datos reales sobre las poblaciones; pero, en general, no pueden tomar en consideración muchos parámetros a la vez, sobre todo en varias generaciones sucesivas.

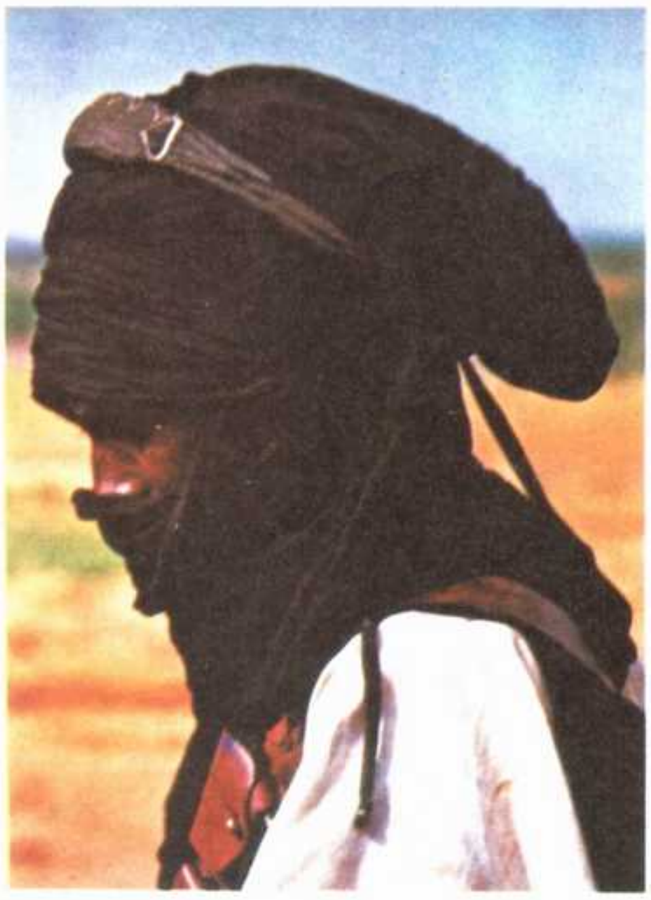
Una tercera vía, en genética de poblaciones humanas, viene representada por el estudio de los *aislados*: se trata de poblaciones humanas de efectivos li-

| | parte del patrimonio genético colectivo (en %) | resultado |
|---|---|---|
| fundador n.º 1 | 10,6 | |
| fundadores n.º 2 al 7 | 41,8 | 52,4 |
| fundadores n.º 8 al 12 | 19,4 | 71,8 |
| fundadores n.º 13 al 22 | 17,4 | 89,3 |
| fundadores n.º 23 al 97 | 10,7 | 100 |

**Los trescientos ochenta y dos Kel Kummer que viven actualmente son los descendientes de un reducido número de antepasados fundadores que originaron el grupo (separándose de una confederación tuareg); depués, algunos aislados fueron incorporándose de manera intermitente a este grupo en el curso de los siglos. La determinación de las genealogías y de los grupos tisulares HLA, y por tanto de los genes HLA, de casi todos los individuos Kel Kummer que viven en el presente, permite deducir los grupos tisulares de los individuos fallecidos y de los antepasados. Por ello, es posible, finalmente, determinar en qué proporción un fundador concreto ha proporcionado los genes que figuran hoy en el patrimonio genético colectivo, y clasificar a estos fundadores según la importancia de su contribución. De esta clasificación resulta que sólo veintidós fundadores han proporcionado el 89,3 %, o sea, casi el 90 % del patrimonio genético colectivo de los Kel Kummer.**

Zona de nomadismo de los Kel Kummer





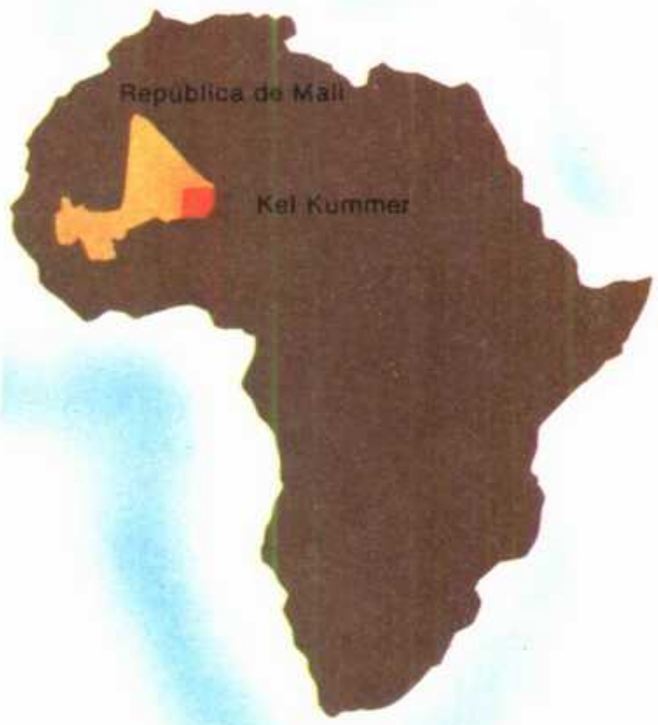



Figura 1. **Los Kel Kummer, al igual que todas las tribus tuareg, son pastores nómadas del sur del Sahara. Su economía está basada en la cría de dromedarios y la necesidad de cambiar de pastos ocasiona grandes transhumancias. Su organización social es de tipo jerárquico, siendo ejercido el poder político por una casta noble. Los Kel Kummer se localizan al este de la República de Mali y han conservado muy arraigadas sus tradiciones, tales como la elección de cónyuge, lo que ha permitido reconstruir exhaustivamente sus genealogías.**

**La consanguinidad no viene acompañada automáticamente por una elevada frecuencia de taras hereditarias.**

mitados que, por diversas razones (rebeliones, emigraciones, prácticas religiosas, etc.), se han separado de una población madre y se han reproducido en un área limitada y cerrada. En algunos casos favorables, es posible reconstruir la genealogía exacta de los individuos en numerosas generaciones y, de este modo, examinar la transmisión a través de las generaciones de ciertos caracteres con determinismo genético bien definido, tales como los grupos sanguíneos (ABO) o los grupos tisulares (HLA). Tal ocurre con el aislado de los tuareg Kel Kummer, que presenta la posibilidad, difícil de encontrar en genética de poblaciones, de seguir en la realidad la evolución de un patrimonio colectivo a lo largo del tiempo.

### Una consanguinidad equivalente a las uniones hermano-hermana

Los Kel Kummer se hallan al frente de una confederación de tuareg que viven en el Sahara, al este de la República de Mali (V. fig. 1). Viviendo como pastores nómadas alejados de las grandes vías de penetración económica de África, en un territorio prospeccionado pero desprovisto de petróleo y minerales valiosos, los Kel Kummer y sus parientes han conservado su modo de vida ancestral, sus costumbres y, principalmente, su sistema de alianzas matrimoniales: un individuo de sexo masculino se casa preferentemente con su prima cruzada matrilineal (la hija del hermano de su madre). Esta sistemática elección de cónyuge explica que a través de los avatares de la historia y de las fluctuaciones de las condiciones de supervivencia, los Kel Kummer constituyan hoy un verdadero aislado incluso en el seno de las sociedades de los tuareg.

Este grupo se formó en el siglo XVII como consecuencia de una querella sucesoria. El grupo secesionista estaba dirigido por un tal Kari-Denna. Los trescientos ochenta y dos Kel Kummer que viven en la actualidad son los descendientes de este grupo. En los últimos diez años hemos podido reconstruir su genealogía exhaustivamente, para dieciséis generaciones que comprendían unos dos mil cuatrocientos individuos, descendientes todos ellos, casi tres siglos después, de unos pocos antepasados fundadores.

Las genealogías se han establecido partiendo de la tradición oral en un principio y después han sido comprobadas y confirmadas por numerosas verificaciones con diversos documentos escritos (archivos militares, relatos de viajeros, crónicas árabes), por la investigación sistemática mediante exámenes biológicos de las exclusiones de parentesco en los individuos vivos, y también mediante la búsqueda de antepasados comunes de los individuos portadores de genes poco frecuentes.

La primera idea que constatamos es que los Kel Kummer deben presentar una elevada tasa de consanguinidad debido a su tipo de matrimonio.

Esta consanguinidad puede medirse por el clásico coeficiente F que da la probabilidad de que dos individuos distintos posean un gen idéntico. La utilización de computadoras electrónicas ha permitido determinarlo teniendo en cuenta el conjunto de vínculos entre individuos (en ciertos casos el número de vías posibles que conducen hasta un antepasado común entre dos personas excede del millón). Para el conjunto de individuos a los que se les ha determinado el grupo HLA, la medida de los coeficientes de consanguinidad llega a ser de 0,11, lo que supone un grado muy elevado de consanguinidad. En varios casos, es mayor de 0,24 (recordemos que $F = 0{,}25$ para los hijos procedentes de un cruzamiento entre hermanos; lo que significa que para ciertas parejas de este aislado, el matrimonio corresponde a una unión entre hermanos desde el punto de vista genético debido a la gran consanguinidad).

Pero la homogeneización genética ocasionada por esta consanguinidad se

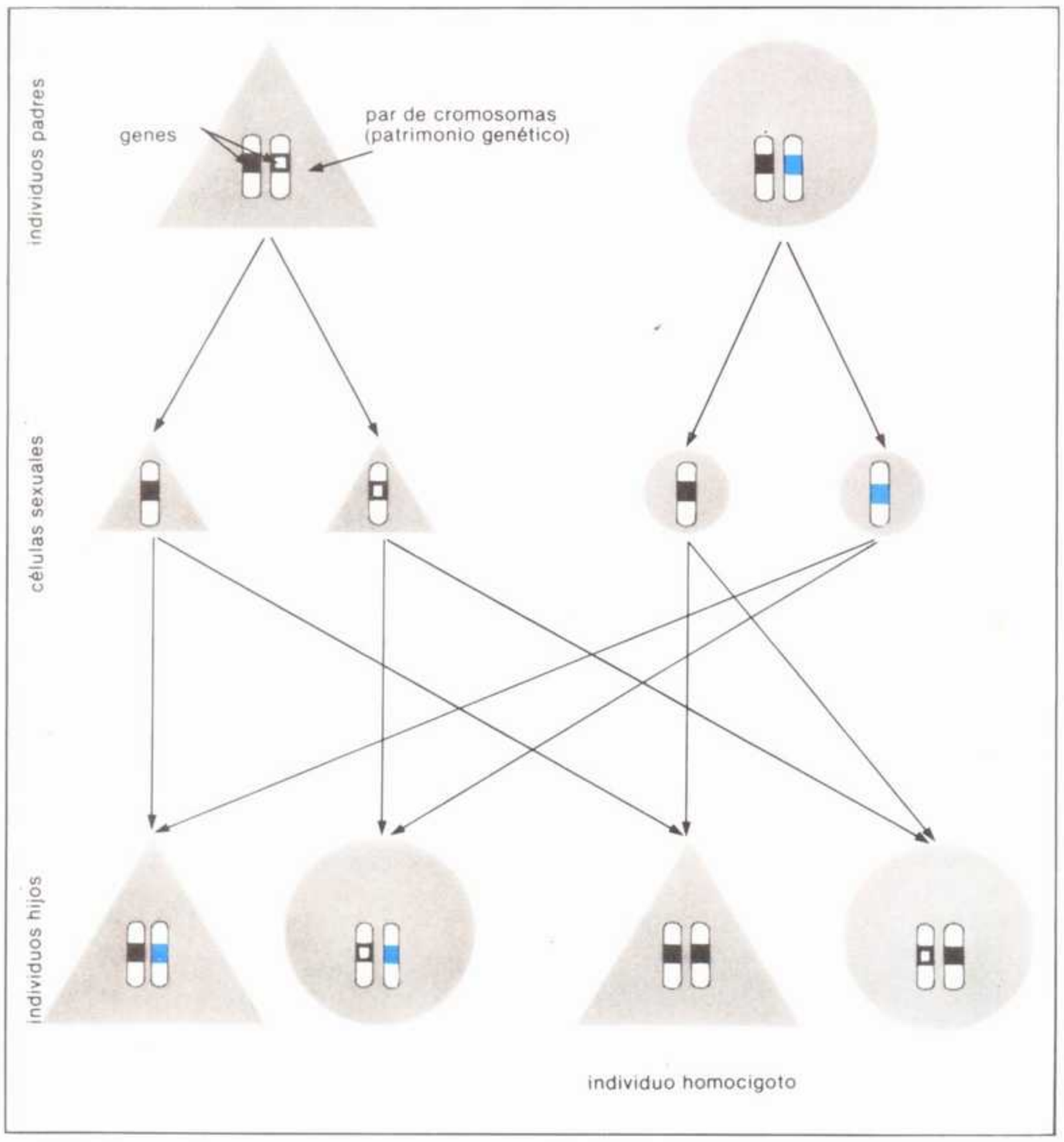



Figura 2. **En todo ser vivo que posea núcleo en sus células, el patrimonio genético está repartido en pares cromosómicos (veintitrés en la especie humana). Cada par (excepto el par de cromosomas sexuales) lleva los mismos genes situados en el mismo nivel de los dos cromosomas que lo forman. Estos genes —responsables de una determinada función, por ejemplo la definición del grupo tisular o del grupo sanguíneo— pueden presentar unas variantes o alelos.**
**Este esquema representa la manera de obtenerse los patrimonios genéticos de los hijos a partir de los patrimonios genéticos de los padres, de modo que éstos contribuyen a la formación de la mitad del patrimonio genético de cada uno de sus hijos. Este hecho tiene lugar debido a que sus células sexuales, que formarán el cigoto que dará origen al individuo, sólo poseen la mitad del patrimonio genético, o sea un cromosoma de cada par.**
**Se ha representado un único par de cromosomas en cada patrimonio genético y se ha simbolizado un gen, situado a una determinada altura del cromosoma. Este gen puede presentar aquí tres variantes en la población. Una de estas variantes se halla en cada uno de los padres. Por consiguiente, uno de los cuatro patrimonios posibles presentará este alelo por duplicado: el hijo será homocigoto. Los otros son heterocigotos (cosa que también ocurre con los padres): sus alelos no son idénticos.**

evidencia aún mejor por la medida de las «probabilidades de origen», es decir, por el conjunto de las probabilidades de que un gen tomado al azar proceda de un determinado «fundador», siendo éste un individuo en el que se interrumpe nuestra información genealógica.

Si se clasifica a los fundadores por la importancia decreciente de su contribución al patrimonio genético actual, se obtiene el siguiente cuadro (véase pág. 374). Asi, las nueve décimas partes de los genes del grupo que vive actualmente proceden sólo de veintidós individuos. Debido a estas circunstancias, los Kel Kummer presentan una rara homogeneidad.

Visto esto, se nos plantea una pregunta: ¿una consanguinidad tan elevada no vendrá acompañada automáticamente por una elevada frecuencia de enfermedades hereditarias, o por una susceptibilidad importante a ciertas enfermedades? En realidad, hay que matizar esta aseveración. Es cierto que la consanguinidad favorece la manifestación de enfermedades o anomalias genéticamente determinadas, pero sólo si el gen que causa las deficiencias estaba presente en los antepasados comunes de partida.

En el caso del aislado de los Kel Kummer, se ha observado la presencia de una anomalía hereditaria para la visión de los colores: la discromatopsia de tipo tritán; es una anomalía en la visión del azul, de modo que el individuo afectado confunde el verde y el azul. Esta anomalía, considerada como muy rara, está presente aquí con una elevada frecuencia (treinta individuos de ochenta y dos examinados). Hemos podido demostrar que, al contrario del daltonismo, esta anomalía se transmite por los cromosomas no sexuales, y que es genéticamente dominante (es suficiente que uno de los padres esté afectado para que los hijos también puedan serlo) (V. *La Recherche*, n.º 116, noviembre 1980, p. 1300). Pero, aparte de esta anomalía, no parece que los Kel Kummer sean portadores de otras anomalías hereditarias.

### Una tarjeta de identidad genética muy precisa

Antes de ir más lejos, tenemos que realizar algunas consideraciones acerca de lo que son los grupos tisulares HLA. Éstos fueron descubiertos en 1958 por Jean Dausset, que acaba de ser recompensado con el premio Nobel de Medicina (1980).

Son los grupos que determinan si un injerto de tejido será rechazado o aceptado por un receptor. En teoría, para que el injerto no sea rechazado, es preciso que el donante y el receptor posean los mismos grupos tisulares HLA (del mismo modo que una transfusión sanguínea sólo es posible si donante y receptor presentan compatibilidad para el grupo sanguíneo ABO).

Concretamente, los grupos tisulares corresponden a la presencia de ciertas moléculas en la superficie de las membranas de las células del organismo. Estas moléculas son portadoras de señales de reconocimiento (o antígenos) para los anticuerpos o linfocitos atacantes, o sea, para los agentes del sistema inmunitario encargados de destruir todo aquello que sea extraño al organismo. Estas moléculas-señales son proteínas, y al igual que todas las proteínas en los seres vivos, su síntesis en las células es dirigida por unos genes. En el caso de las moléculas de las membranas características de los grupos tisulares HLA, estos genes han podido ser enumerados y localizados.

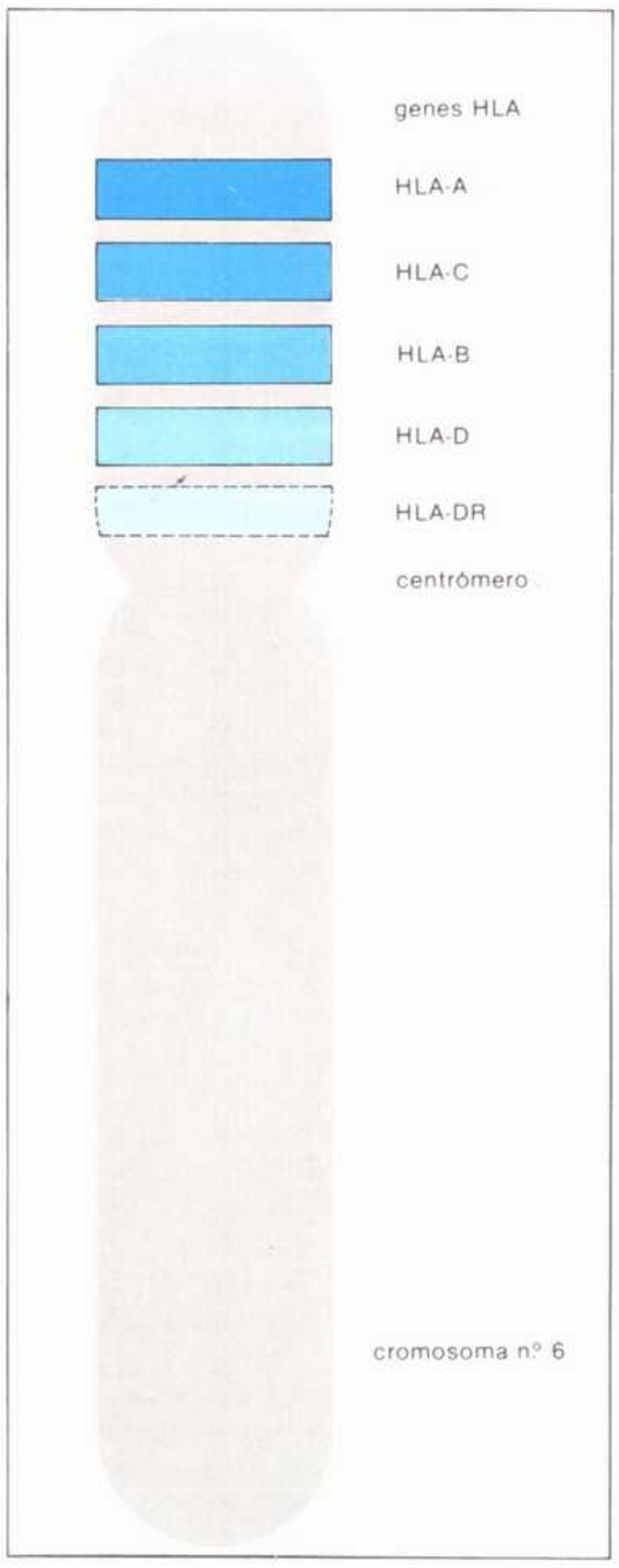



Figura 3. **Los grupos tisulares HLA vienen exactamente definidos por la combinación de cinco genes HLA. Éstos se encuentran en los cromosomas del par n.º 6. Se ha podido determinar la posición de cada uno de estos genes en el cromosoma. Además, el sistema HLA se caracteriza por el gran número de formas (alelos) de cada uno de sus genes. Esta gran variedad es útil al investigador de la genética de poblaciones que, gracias a ello, puede establecer relaciones genealógicas precisas entre individuos.**

En la actualidad, se conocen cinco locus (emplazamiento de un gene) HLA, localizados en los dos cromosomas del par n.º 6. Cada locus se designa con un símbolo: los cinco locus han sido denominados HLA-A, HLA-B, HLA-C, HLA-D y HLA-DR. Cada gen situado en un locus determina la formación de una molécula de membrana caracteristica de un grupo tisular del mismo nombre (por ejemplo, un gen HLA-A dirige la sintesis de la molécula de membrana característica del grupo HLA-A, etc.). Una de las propiedades fundamentales del grupo de genes HLA es la de su enorme variedad. Cada gen presenta numerosas formas (o alelos): veinte para HLA-A; treinta y tres para HLA-B; ocho HLA-C; once HLA-D; diez para HLA-DR (estas cifras son provisionales ya que se está lejos de poseer la recopilación de todos los alelos presentes en todas las poblaciones humanas). Por su parte, cada uno de los alelos es denominado con una cifra añadida al símbolo del locus correspondiente: HLA-A1, A2, A10, Aw19, Aw43, etc. [idem para HLA-B, HLA-C, HLA-D o HLA-DR (V. fig. 3)].

La extraordinaria variabilidad de los genes de los grupos tisulares HLA significa que todo individuo puede diferenciarse de otro, por lo menos en un gen HLA. Las moléculas de membrana HLA constituyen una tarjeta de identidad de extraordinaria precisión. Desde el momento en que se sepa identificar estas moléculas de manera sencilla y rápida para un gran número de individuos que constituyan una muestra de poblaciones, se puede conocer con precisión la frecuencia de algunos de estos genes en el seno de las poblaciones. De hecho, las moléculas de membrana HLA pueden ser identificadas en los glóbulos blancos (así es como fueron identificadas por primera vez por Jean Dausset, lo que explica la denominación HLA: antígenos leucocitarios humanos). Podemos decir, por lo tanto, que una muestra de sangre y las pruebas inmunológicas correspondientes permiten obtener el «fenotipo HLA» de un individuo, es decir la identificación de la naturaleza exacta de los alelos de cada uno de los genes HLA.

Gracias al sistema HLA, la genética de poblaciones dispone, a partir de los años setenta, de un poderoso instrumento que viene a completar y profundizar las aportaciones realizadas hasta entonces en la determinación de otros

**El estudio de los genes HLA en el conjunto de individuos permite establecer relaciones de parentesco entre las poblaciones humanas.**

grupos sanguíneos como, por ejemplo, el ABO u otros sistemas parecidos de moléculas sanguíneas a menudo poco polimórficos.

Asi, entre 1970 y 1972, una colaboración internacional que comprendía equipos de numerosos paises ha permitido comparar la frecuencia de ciertos alelos HLA entre cincuenta y cuatro poblaciones (entre las que se encontraban los Kel Kummer) pertenecientes a regiones muy distintas del planeta. Este estudio ha demostrado que algunos alelos de los genes HLA son especificos de ciertos grupos humanos: los alelos A1 y B8 sólo se encuentran en caucasoides (poblaciones denominadas blancas); Aw36, Aw43, Bw43 sólo se encuentran en poblaciones negroides (denominadas negras); Bw22 se presenta principalmente en las australoides. Pero no hay que pensar que se trata de características propias de los troncos raciales distinguidos por los antiguos antropólogos. El alelo HLA-B21 sólo se encuentra en el área mediterránea; Aw33 Aw34 sólo en Indonesia. De hecho si sólo se consideran los genes HLA-A y HLA-B, las poblaciones mundiales se dividen en dos: las caucasoides y las negroides por un lado; las mongoloides (poblaciones de Asia denominadas amarillas e indios de América) y australoides, por otro. Pero si se consideran los genes HLA-DR, los agrupamientos difieren.

Sin embargo, la información más clara proporcionada por la distribución del sistema HLA en las poblaciones consiste en que la proximidad genética de las poblaciones está correlacionada con su proximidad geográfica. Este hecho se puede comprobar con facilidad en los gráficos de análisis de correspondencia en los que las distintas poblaciones definidas por su tipo HLA se reparten en concordancia con su distribución geográfica. Esto se ha comprobado no sólo a nivel de poblaciones pertenecientes a todo el mundo (véase fig. 4A), sino también con poblaciones más cercanas entre sí geográficamente, como las poblaciones europeas (véase fig. 4B). Este hecho ilustra bien el gran poder discriminante de los fenotipos HLA, y la variabilidad genética de poblaciones que ocupan distintos territorios, aunque éstos estén próximos (y a pesar del desarrollo de los medios de comunicación y de la frecuencia de los desplazamientos, como en el caso de Europa). Hagamos memoria y recordemos que tal discriminación genética de las poblaciones según su localización geográfica no habia sido posible conseguirla con tanta precisión utilizando otros grupos sanguíneos (por ejemplo ABO).

La comparación de la frecuencia de los alelos de genes HLA entre poblaciones distintas no aporta, sin embargo, información acerca de la evolución genética de cada una de estas poblaciones.

### El empobrecimiento genético de los Kel Kummer

Teóricamente, cuando una población evoluciona desde el punto de vista genético, significa que determinados alelos de los genes tienden a adquirir frecuencias mayores que los otros. Por el contrario, en una población cuyo patrimonio genético no evoluciona, las frecuencias de los distintos alelos permanecen constantes. Se dice que esta población está en equilibrio. Consideremos dos genes, G y H, situados en el mismo cromosoma y que presentan en la población distintos alelos Gi1, Gi2,..., Gin y Hj1, Hj2,..., Hjn. En una población en equilibrio, cada uno de estos alelos tiene una frecuencia definida y constante P(Gi1), P(Gi2),..., P(Gin) y P(Hj1), P(Hj2),..., P(Hjn). Puede ocurrir que encontremos con frecuencia en los individuos la presencia simultánea de un alelo de G, por ejemplo Gi1 y de un alelo de H, por ejemplo Hj3. Esta presencia simultánea en los patrimonios genéticos individuales se denomina asociación de dos alelos; en nuestro ejemplo, se trata de la asociación Gi1-Hj3.

En una población en equilibrio, la frecuencia de una asociación de dos alelos dados es igual al producto de la frecuencia de estos dos alelos en la población, o sea en nuestro ejemplo:
$P(Gi1\text{-}Hj3) = P(Gi1) \times P(Hj3)$.

## Los aislados humanos

■ Además del caso de los tuareg Kel Kummer examinado en este artículo, se conoce un cierto número de aislados humanos, pequeñas poblaciones que se reproducen en «círculo cerrado». El más célebre es el de la isla de Pitcairn, en el Pacífico, a 2 000 km de Tahití: los doscientos veinticinco habitantes de esta isla, estudiados en 1934 por H. Shapiro, eran los descendientes de los rebeldes del navío inglés Bounty. Éstos habían abordado esta isla en 1790 y, a consecuencia de varias masacres, un solo hombre de origen británico y nueve mujeres de origen tahitiano habían fundado finalmente este aislado.

En la isla de Tristan da Cunha, en el Atlántico, a 2 500 km de Santa Helena fue fundada una población en 1810 por una sola pareja, formada por un hombre escocés y una mujer negra sudafricana. El aislado comprendía cien personas en 1938.

Los indios Jicacas de Honduras constituyen actualmente un grupo de unos trescientos individuos. Son los descendientes de ocho indios que en el siglo XIX se adentraron en la selva virgen para huir de su condición de esclavos. En los últimos años, el etnólogo A. Chapman ha podido reconstruir sus genealogías durante cinco generaciones.

En Quebec, el pueblo de Bois-Vert fue fundado en 1863 por tres familias. En 1965 tenía una población de quinientos setenta y cuatro habitantes repartidos en ochenta hogares (hay que tener en cuenta una inmigración muy escasa en este aislado).

Los esquimales de Thule, en el extremo norte de Groenlandia, vivían completamente aislados del resto del mundo cuando fueron descubiertos en 1818. En 1950, cuando J. Malaurie, L. Tabah y J. Sutter estudiaron este aislado, eran trescientos dos individuos.

En algunos casos, son las prácticas culturales las que han aislado a ciertas poblaciones, sobre todo la elección de pareja en el seno del grupo. Así, los «Amish» representan hoy a cuarenta y cinco mil personas que viven en Estados Unidos, en los Estados de Pennsylvania, Ohio e Indiana. Son los descendientes de menos de doscientos fundadores que, llegados de Suiza, se establecieron en Estados Unidos entre 1720 y 1770 y sólo se casaron entre ellos. Esta elección de cónyuge perteneciente al grupo se ha mantenido hasta nuestros días.

Los Samaritanos constituyen una pequeña población judía repartida entre dos pequeñas comunidades en Israel. Son los descendientes de las tribus del norte de Palestina que constituyeron, 1000 años a.J.C., el reino de Samaria. Estas tribus estaban en guerra con las dos tribus del sur que constituían el reino de Judá. Perseguidas por éstas, y después por los romanos, los cristianos y los musulmanes, los samaritanos se fueron perpetuando en el transcurso de los siglos casándose sólo entre ellos. Sus efectivos hoy día son de unos quinientos individuos (mientras que debían ser cerca de un millón en la época del reino de Samaria).

Algunos aislados conocidos hoy ya han desaparecido, tales como los habitantes de la Tierra de Fuego (en la punta de América del Sur): la tribu de los Alakalufs, cuyos efectivos eran de dos mil individuos a principios de siglo y no comprendían más que sesenta y un miembros en 1953. Hoy en día se han extinguido, diezmados por el alcoholismo y la tuberculosis. Del mismo modo, los Ainú, habitantes del Japón de piel blanca, han constituido durante mucho tiempo un aislado. En la actualidad, están cada vez más mestizados y su grupo se halla en vías de extinción.

*Marcel Blanc.*

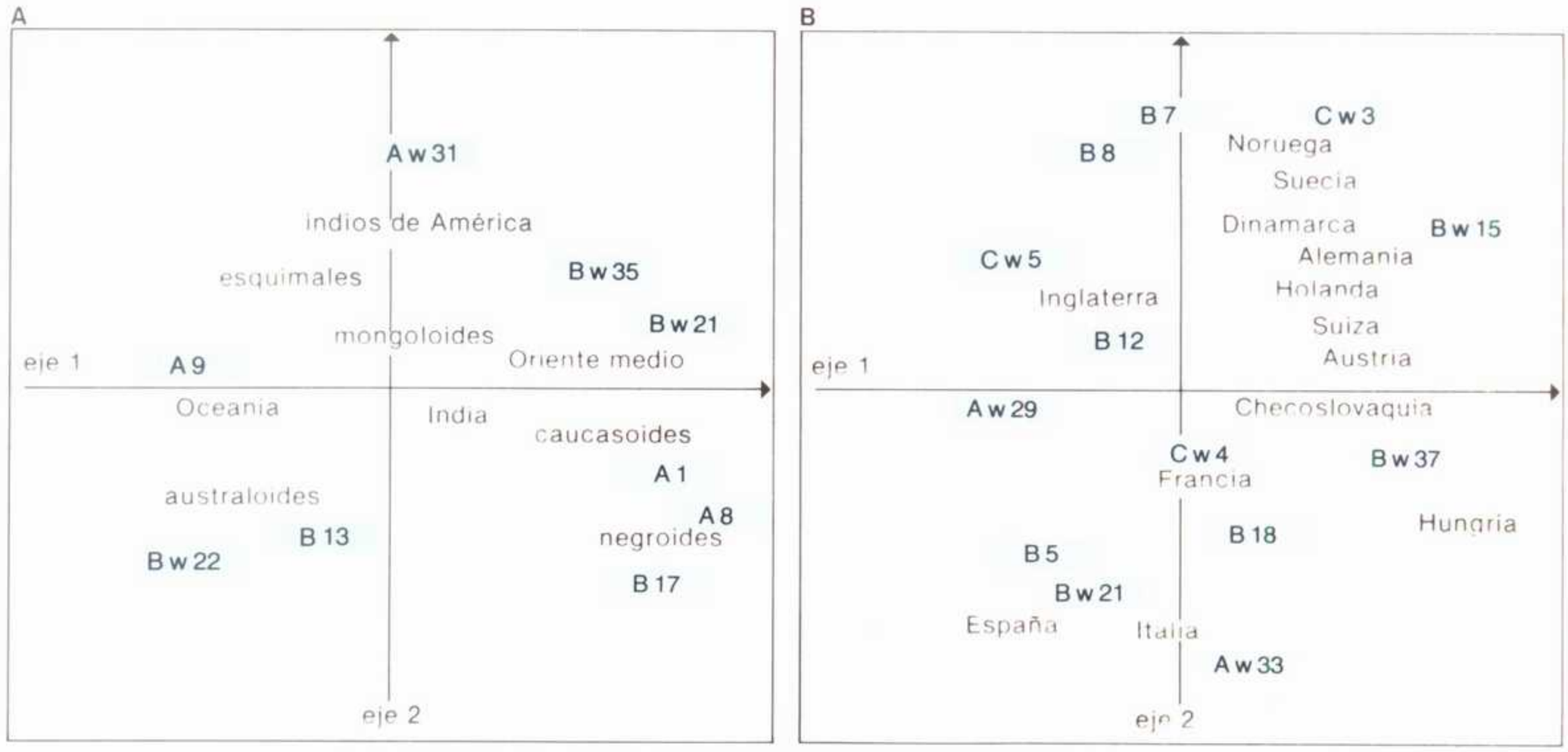



Figura 4. **Es posible situar las poblaciones humanas de diversas procedencias según la proximidad de parentescos que presenten sus grupos tisulares HLA. El resultado global de este tipo de estudios demuestra que la distribución de las poblaciones según sus genes HLA presenta una estrecha correlación con su distribución geográfica. Se trata de la misma especie humana que varia insensiblemente de un extremo al otro del planeta.**
A — **Aquí las poblaciones mundiales se distribuyen (según un análisis de correspondencia) en función de las frecuencias de sus genes HLA-A y HLA-B. Se han representado gráficamente algunas regiones geográficas y los conjuntos agrupados de forma aproximada en las antiguas categorias antropológicas: raza caucasoide (blanca); negroide (negra); mongoloide (amarilla de Asia e Indios de América); australoide (aborigenes de Australia). Resulta notable la proximidad de los negroides y los caucasoides. De hecho, este tipo de clasificación no sirve para gran cosa: si sólo considerásemos los genes HLA-DR, la clasificación seria diferente.**
B — **En esta representación gráfica, se distribuyen las poblaciones europeas según la frecuencia de sus genes HLA-A, HLA-B y HLA-C. Queda claro que esta distribución de proximidades genéticas se superpone con la de proximidades geográficas. Esto confirma que la población es un conjunto de individuos que se reproducen en el seno de un territorio dado.**

Si no se verifica esta ecuación, es debido a que esta asociación no es fruto del azar. La selección natural, las migraciones o la eliminación al azar de los otros alelos han debido intervenir para aumentar, más de lo que cabría esperarse por el simple azar, la frecuencia de esta asociación. La población no está en equilibrio (evoluciona) y la diferencia P(Gix-Hjy)-[P(Gix) × P(Hjy)] se denomina *desequilibrio por ligamiento* entre dos alelos.

En las grandes poblaciones, tales desequilibrios manifiestan la presencia de presiones selectivas que favorecen o desfavorecen tal o cual asociación. También pueden evidenciar la reciente inmigración de una población en el seno de otra (difiriendo ambos grupos en su patrimonio genético colectivo).

En las pequeñas poblaciones, la mayor frecuencia de ciertas asociaciones puede ocurrir por diversos motivos. Puede darse una pérdida de ciertos alelos debida al azar: si el número de individuos es pequeño, el número de concepciones por generación también es pequeño, y es probable que algunas células sexuales de los procreadores, portadoras de ciertos alelos, no hayan participado nunca en ninguna fecundación. Por consiguiente, estos alelos ya no estarán representados en las generaciones posteriores.

Este fenómeno de pérdida al azar se denomina *deriva genética*. En las poblaciones pequeñas este fenómeno se manifiesta intensamente: el empobrecimiento del número de alelos tiene naturalmente como corolario que sólo ciertos alelos tienden a subsistir. Es lógico que quepa esperar desequilbrios de ligamiento entre alelos en este caso.

La mayor frecuencia de ciertas asociaciones de alelos en las pequeñas poblaciones, es debida todavía al efecto fundador y a la consanguinidad. Resulta obvio que si un aislado se inició con un pequeño número de antecesores, éstos tenían pocas posibilidades de constituir una muestra que reprodujese exactamente las frecuencias genéticas de la población de la cual se separaron. Más bien fueron una extracción al azar entre los alelos que constituían el patrimonio genético colectivo. En cuanto a la consanguinidad, cabe decir que refuerza, naturalmente, la perpetuación de ciertas asociaciones de alelos.

Por lo tanto, se reúnen todas las condiciones para que la población Kel Kummer presente un empobrecimiento genético considerable y correlativamente una importante frecuencia de ciertas asociaciones de alelos.

El empobrecimiento genético se manifiesta en el hecho de que sólo se han encontrado *treinta y siete* asociaciones entre alelos HLA-A y alelos HLA-B, de las *ciento sesenta y cinco* que teóricamente son posibles. Algunas de ellas sólo atañen a uno o dos individuos (véase cuadro) y quizás están llamadas a desaparecer.

También se han encontrado algunas asociaciones que presentan frecuencias elevadas, como la asociación de HLA-A28 con HLA-B7 o la de HLA-A11 y HLA-B21. El desequilibrio de ligamiento, calculado según la fórmula desarrollada anteriormente, es de:
A28B7: 0,189—(0,197 × 0,279) = 0,135.
A11B21: 0,148—(0,150 × 0,156) = 0,125.

Los valores de 0,135 y 0,125 son valores muy elevados, raramente alcanzados en genética de poblaciones humanas. Atestiguan bien el efecto fundador en los Kel Kummer, asociado a la deriva genética y a la consanguinidad.

### Un factor de diversidad genética: la recombinación

El empobrecimiento genético del aislado Kel Kummer está limitado, sin embargo, por dos factores, la recombinación entre genes y la inviabilidad del homocigoto HLA. Como ya veremos, el segundo factor era totalmente imprevisto a nivel teórico. Pero examinemos primero lo que es la recombinación genética.

La recombinación asocia, de manera totalmente nueva en el patrimonio gené-

**Por razones desconocidas, la aparición de nuevas asociaciones de genes es más frecuente en las mujeres.**

tico de un individuo, alelos que hasta entonces no se habían asociado en el patrimonio genético de los componentes de la población. Veamos un ejemplo considerando el patrimonio genético de un individuo.

En un par de cromosomas n.º x (fig. 5) tenemos un gen Gi1 y otro gen Hj3, presentes en un cromosoma del par, y un gen Gi5 y otro gen Hj2 asociados al otro cromosoma. Por regla general, en el momento de la formación de las células sexuales, el par de cromosomas se separa (como toda la serie de pares de cromosomas de la célula) y cada uno de los cromosomas separado va a figurar en las células sexuales. Éstas se distinguen entre sí por los cromosomas que habrán recibido y los alelos determinados que, debido a ello transmitirán. Por tanto, en este ejemplo, la asociación Gi1-Hj3 se transmitirá por medio de las células sexuales independientemente de Gi5-Hj2, y esto ocurrirá de generación en generación.

Pero supongamos que interviene este accidente relativamente poco frecuente que es el entrecruzamiento de los cromosomas *(crossing-over)* en el preciso momento en que los pares de cromosomas se separan, justo antes de la formación de las células sexuales. Ocurre que, antes de esta asociación, cada cromosoma se divide de modo longitudinal en dos mitades iguales o cromátidas. Por lo tanto, en el par cromosómico en proceso de disociación hay cuatro cromátidas que se hallan unidas, una junto a otra, en el núcleo de la célula en proceso de división. El entrecruzamiento de los cromosomas, que puede ocurrir entonces por azar en el momento de la división celular, hace que se solapen dos cromátidas por lo menos, pertenecientes cada una de ellas a uno de los cromosomas del par considerado. Para facilitar la explicación, distinguiremos una porción larga por encima del punto de solapamiento y una porción corta por debajo de este punto en cada una de las cromátidas entrecruzadas. Entonces, el curso de los acontecimientos comprende la ruptura de las cromátidas a nivel de su punto de entrecruzamiento, y la «soldadura» (recombinación) de una porción corta de una cromátida con una porción larga de la otra. El resultado es la nueva formación de dos cromátidas, a partir de posiciones de distintos orígenes: se dice que son «recombinantes». Por último, prosigue la división celular, las cuatro cromátidas se separarán totalmente entre sí y constituirán los cromosomas de cuatro células sexuales independientes. Por lo tanto, ciertas células sexuales tendrán cromosomas recombinantes. Si las variantes de los genes presentes en las porciones cortas intercambiadas eran diferentes, las asociaciones de estas variantes con las variantes de los genes que se encuentran en las porciones largas dan lugar a nuevas asociaciones. Así, en nuestro ejemplo de antes, el entrecruzamiento de los dos cromosomas del par n.º x ha conducido al intercambio de la porción de cromosomas portadora de Hj3 con la porción del otro cromosoma portadora de Hj2. Por consiguiente, en las cuatro células sexuales se tendrá al lado de los cromosomas originales portadores por una parte de la asociación Gi1-Hj3 y por otra de la asociación Gi5-Hj2, a los cromosomas recombinantes portadores por una parte de la asociación Gi1-Hj2 y por otra de la asociación Gi5-Hj3. La recombinación genética no hace aparecer nuevos alelos, pero induce nuevas asociaciones entre ellos. A nivel de la composición de los patrimonios genéticos de los individuos, esto representa una novedad al diferenciar unos individuos de otros. La recombinación se opone, en general, a la homogeneización genética de los individuos.

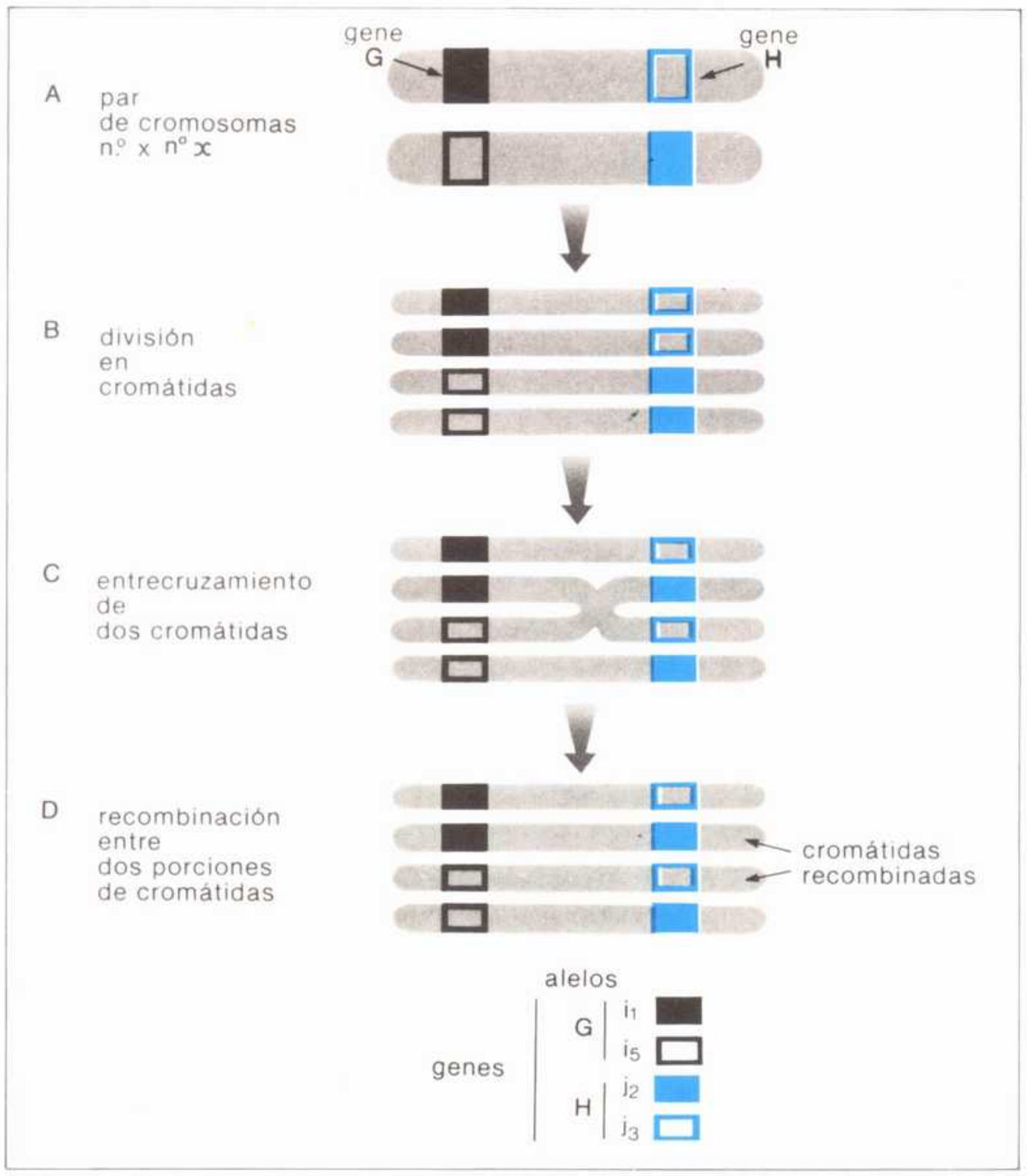



Figura 5. **Este esquema ilustra el proceso de recombinación de alelos en el seno de un patrimonio genético, mecanismo que explica el mantenimiento de una cierta heterogeneidad genética entre los individuos en el aislado de los Kel Kummer que posee elevada consanguinidad.** A— **Un par de cromosomas n.º x del patrimonio genético de un individuo es portador de cuatro variantes de los genes G y H, asociadas dos a dos en cada uno de los cromosomas: Gi1 con Hj3 y Gi5 con Hj2.** B— **En el curso de la división celular que conduce a la formación de las células sexuales, los cromosomas se dividen en dos cromátidas cada uno. Por lo tanto, ahora tendremos ocho ejemplares de los genes G y H, pero siempre asociados según el tipo inicial Gi1-Hj3 y Gi5-Hj2.** C — **Puede ocurrir que dos cromátidas se entrecrucen y se rompan a nivel del punto de entrecruzamiento.** D — **Una porción procedente de la ruptura de una cromátida se ha «vuelto a soldar» —se dice que se ha recombinado— con una porción de la otra cromátida. A consecuencia de ello, los alelos G y H ya no están asociados del mismo modo en que lo estaban al principio. Ahora tenemos, además de los dos tipos de asociación originales, dos nuevas asociaciones en las cromátidas: Gi1-Hj2 y Gi5-Hj3. Cada una de las cromátidas se convertirá en un cromosoma transportado por una célula sexual. Por lo tanto, podrían formarse patrimonios genéticos de nuevo tipo.**

Hemos podido observar en los Kel Kummer la aparición de estas recombinaciones entre alelos HLA. Son sucesos raros pero, gracias a las genealogías reconstruidas, hemos podido situar su aparición en un individuo particular y su transmisión. En particular, un ejemplo resulta sorprendente: es el de una familia en la que, en menos de cincuenta años, tres mujeres han originado cuatro recombinaciones entre alelos HLA (V. fig. 6). En todos los casos, la recombinación ha implicado a un cromosoma portador inicial de la asociación A9-Bw35. Las cuatro nuevas asociaciones situadas en los cromosomas recombinantes han sido A9-B21, A9-B12, A2-Bw35 y Aw32-Bw35. Es conocido el hecho de que las recombinaciones parecen producirse con más frecuencia en las mujeres, pero no se posee explicación para este fenómeno. Tampoco se sabe por qué un determinado cromosoma (aquí el portador de la asoaciación A9-Bw35) es afectado por las recombinaciones con más frecuencia que otros.

No siempre resulta fácil descubrir el origen de las asociaciones nuevas de alelos HLA procedentes de recombinaciones y hay que apelar a las distintas propiedades del sistema HLA para, remontando generaciones, llegar hasta la primera aparición de esta asociación. El ejemplo más característico que hemos hallado para ilustrar este procedimiento es el de Balät welet el Ghoskar (n.º 675), portadora de una asociación desconocida en el resto de la población, la asociación A2-B21.

Las recombinaciones podrían explicar cómo tres poblaciones emparentadas de los Tuareg: los Kel Tademaket, los Kel Kummer y los Kel Diniq, han divergido genéticamente, aunque estas tres poblaciones antes de sus escisiones sucesivas poseían en común un cierto número de alelos tales como A11-B21, A2-BDa(6), A9-Bw35, A29-B27, A1-B17, Aw32-B12, A2-B40, A3-B5. Estas asociaciones constituían las asociaciones de base a partir de las cuales se ha-

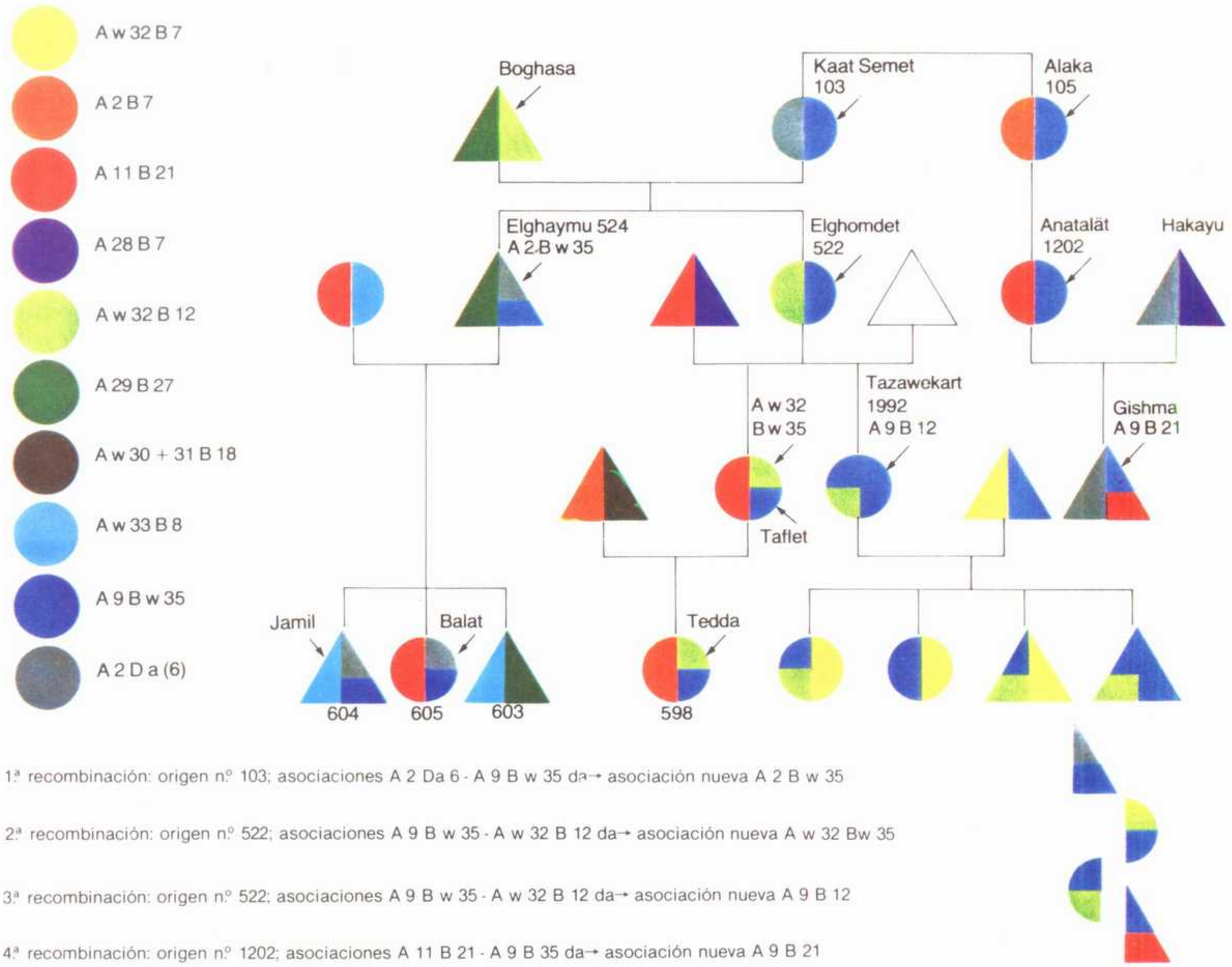



Figura 6. **Este árbol genealógico, perteneciente a la genealogía Kel Kummer, muestra la aparición de recombinación entre alelos HLA, es decir, la aparición de asociaciones nuevas entre estos alelos: esto representa un tipo de innovación genética, que diversifica los patrimonios genéticos de los individuos.**
**Los varones están representados por triángulos; las mujeres por círculos; las llaves que unen los símbolos por debajo significan «matrimonio»; las llaves que unen los símbolos por arriba significan «hijos procedentes de matrimonio».**
**Para cada individuo (identificado eventualmente por su nombre y un número) se ha indicado la asociación de los alelos HLA-A y HLA-B, que presenta cada uno de los cromosomas de su par nº 6. Las asociaciones iniciales se representan a la izquierda en forma simbólica.**
**En esta familia, procedente de dos hermanas carnales, Kaat Semet (nº 103) y Alaka (nº 105), se han producido cuatro recombinaciones entre alelos HLA. Estas recombinaciones se han realizado según el mecanismo descrito en la figura 6, y ello ha tenido lugar en el momento de la formación de las células sexuales en tres mujeres: Kaat Semet (nº 103), Elghomdet (nº 522), Anatalat (nº 1202). Los resultados de las recombinaciones se observan en los cromosomas de algunos hijos respectivos de las tres mujeres: Elghaymu (nº 524), Taflet, Tazawekart (nº 1992).**

**Existe un mecanismo biológico que mantiene la diversidad de los genes HLA.**

brían producido las recombinaciones, y algunas de ellas caracterizaban a cada grupo. Así, ciertas asociaciones procedentes de recombinaciones (según nuestros conocimientos actuales) parecen ser propias exclusivamente de los Kel Kummer (V. fig. 7).

La frecuencia de estas nuevas asociaciones de alelos HLA es más o menos grande según que su aparición sea más o menos reciente y según la importancia del efecto fundador.

### La inviabilidad del homocigoto HLA

Hemos visto que los efectos de la deriva genética, el efecto fundador y la consanguinidad se han sumado para limitar a treinta y siete el número de asociaciones entre alelos HLA, mientras que los teóricamente posibles son ciento sesenta y cinco. En estas condiciones, dada la poca variedad del patrimonio genético de los Kel Kummer, tendríamos que haber encontrado numerosos individuos en los que los genes HLA presentarían el mismo alelo en los dos cromosomas del par n.º 6. Dicho de otro modo, se esperaría una proporción elevada de individuos homocigotos para sus genes HLA. Los modelos teóricos de la genética de poblaciones predecían, si se tiene en cuenta la particular elección de cónyuge, una frecuencia de 11,3 % en la población. En los doscientos cuarenta y nueve individuos cuyo patrimonio genético pudo ser totalmente determinado en lo que respecta a su composición en alelos HLA-A y HLA-B, se habría esperado obtener 249 × 0,113 = 35,934, o sea prácticamente treinta y cinco o treinta y seis individuos homocigotos. Ahora bien, no hay *ningún* homocigoto HLA entre los doscientos cuarenta y nueve Kel Kummer.

El cálculo estadístico demuestra que tal desviación entre el número esperado y el número observado no puede ser debida al azar ($p < 0,005$), sino que parece que hubiera un rechazo del homocigoto. Dicho de otro modo, ocurre como si un mecanismo biológico se opusiera a la presencia simultánea en el mismo patrimonio genético de dos asociaciones iguales de alelos HLA.

La inviabilidad del homocigoto se puede evidenciar de otro modo, o sea mediante la consulta de las genealogías. Si los dos padres presentan en su patrimonio genético una misma asociación alélica HLA, es posible que algunos de sus hijos reciban un ejemplar de esta asociación alélica procedente de cada padre (ya que los padres contribuyen en igual medida a la formación del patrimonio genético de sus hijos). Las leyes de Mendel predicen que un promedio de un hijo de cada cuatro será homocigoto para estos genes.

En los árboles genealógicos, se observa que hay cincuenta y un individuos que habrían podido ser homocigotos debido a la presencia de una misma asociación alélica HLA en cada uno de sus padres. Si tenemos para cada uno una posibilidad sobre cuatro de ser homocigoto, la probabilidad de que alguno de los cincuenta y uno no lo sea era de: 1/2 400 000.

Por lo tanto, podemos observar que resulta evidente la existencia de un mecanismo selectivo que impide la aparición de los homocigotos HLA. El fenómeno no estaba previsto por la teoría, y explica el que no se haya podido realizar la homogeneización genética total de la población Kel Kummer.

¿Cuál es el mecanismo biológico que determina la inviabilidad del homocigoto HLA? Resulta notorio el hecho de que no se haya encontrado un fenómeno parecido en otros estudios sobre la transmisión de los genes HLA, por ejemplo en los hijos procedentes de matrimonios consanguíneos en las poblaciones europeas. Por tanto, cabe pensar que no es el sistema HLA el responsable de esta inviabilidad del homocigoto. Probablemente, el mecanismo se sitúa a nivel de la viabilidad de los embriones procedentes de cigotos con patrimonios genéticos homocigotos. En ratones se conocen situaciones de inviabilidad del homocigoto en el caso de genes que presentan también numerosas variantes, los genes T: los embriones que poseen dos ejemplares de determinadas variantes de estos genes T no prosiguen su desarrollo más allá de ciertos

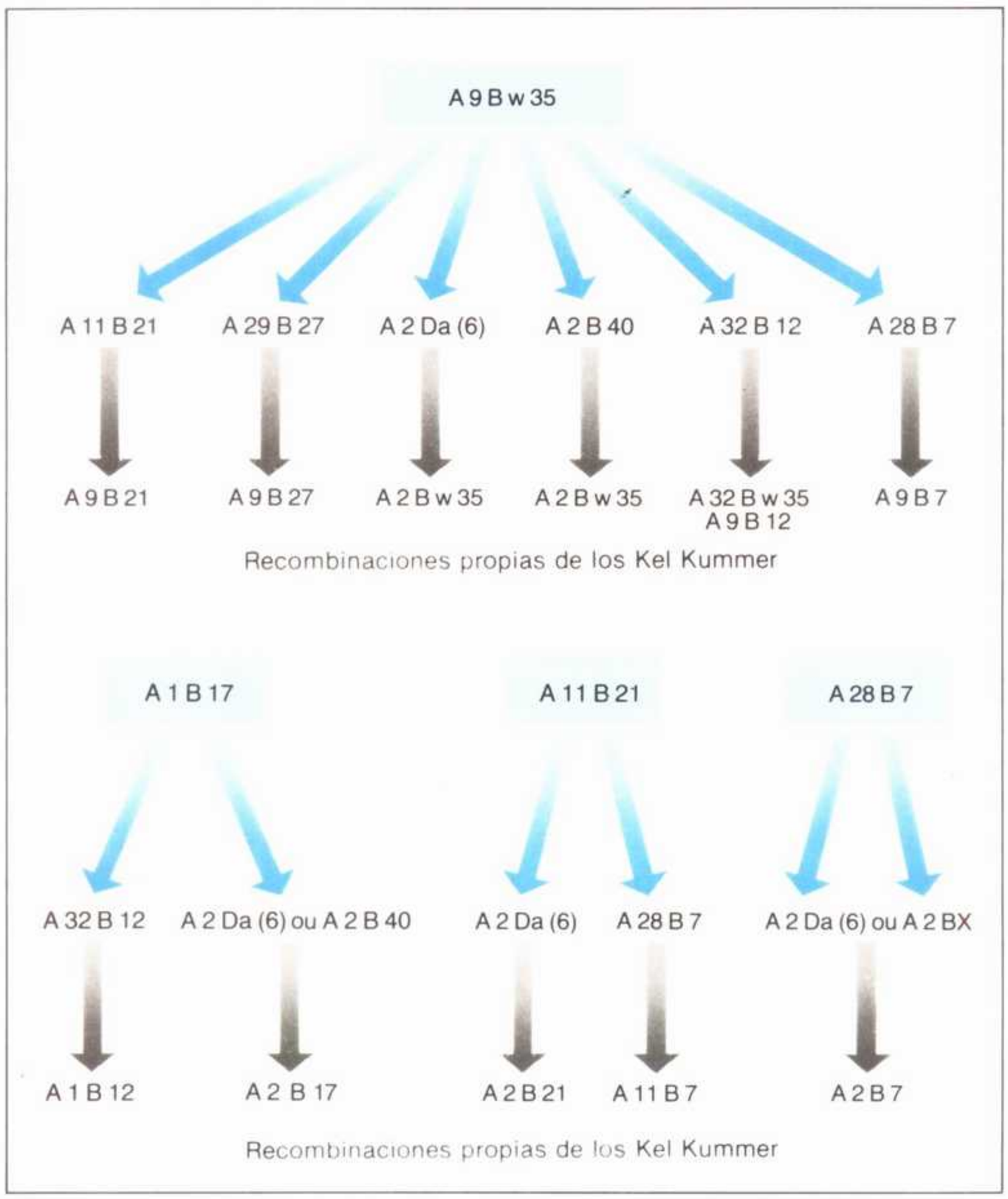
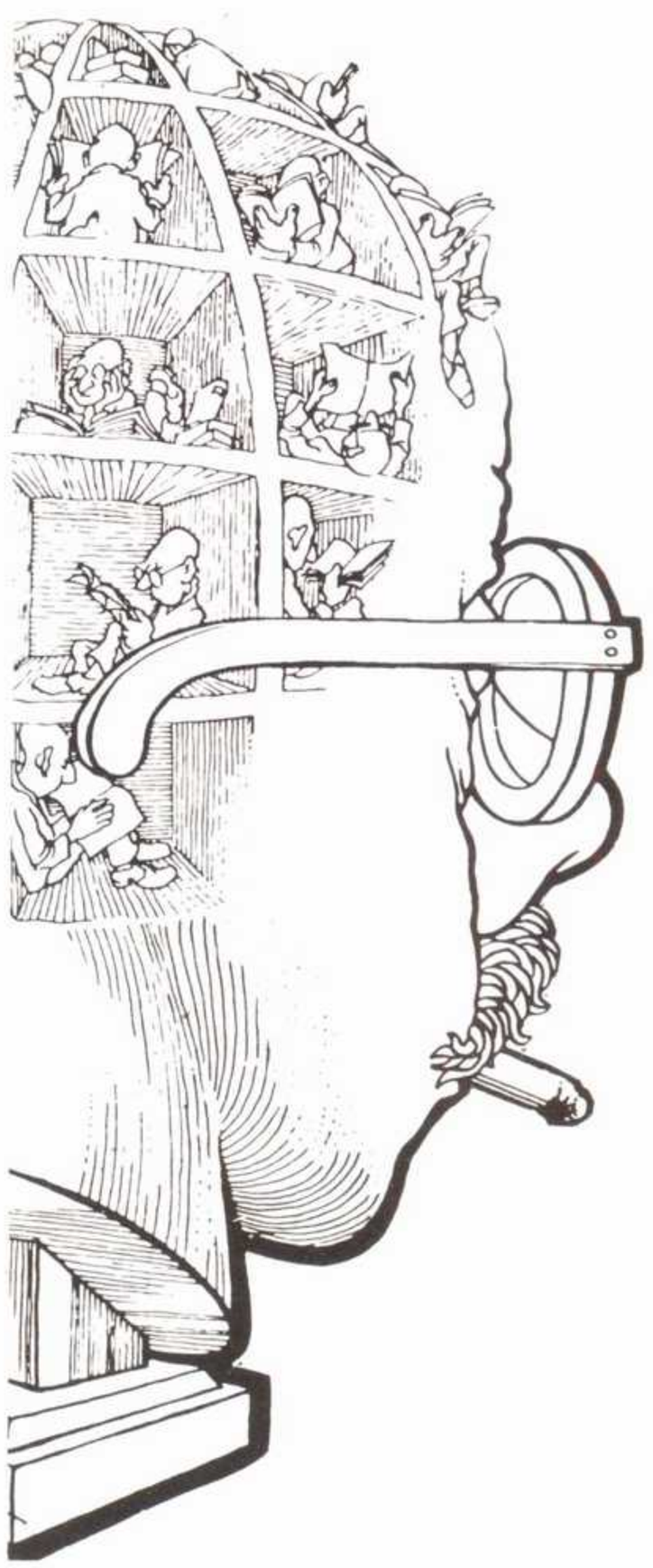



Figura 7. **Determinadas asociaciones de alelos HLA son características del grupo de los Kel Kummer. Indudablemente, se han formado por recombinación de cromosomas entre los que algunos eran portadores de las asociaciones de base, encontradas también en poblaciones emparentadas (que se han separado en distintas épocas de un mismo tronco común). Las asociaciones genéticas de base (encuadradas) parecen haber sido A9-Bw35, A1-B17, A11-B21, A28-B7. Esta figura muestra las recombinaciones que han originado. Éste es uno de los procedimientos por los que las poblaciones pueden iniciar su divergencia genética.**

estadios. Por tanto, algunos homocigotos nunca verán la luz. Ahora bien, en ratones estos genes T están situados en vecindad con los genes H-2 (que son los equivalentes en ratones a los HLA). ¿Podemos suponer que en el hombre existen genes análogos a los genes T en vecindad con los genes HLA, y por consiguiente ciertos alelos impedirían la viabilidad de embriones homocigotos? Si esto fuese cierto, los Kel Kummer habrían sido dotados, por efecto fundador, con estos alelos. Pero ello constituye tan sólo hipótesis que deberán ser confirmadas o rechazadas.

Para acabar, veamos cómo una serie de coincidencias favorables —el descubrimiento de los grupos HLA y la existencia de un aislado humano cuya genealogía se puede reconstruir exhaustivamente— ha permitido observar, por vez primera, la estructura y la evolución reales de un patrimonio genético colectivo humano. El estudio de los Kel Kummer ha aportado ya un cierto número de sorpresas: la elevada frecuencia de una anomalía de la visión muy rara, la inviabilidad del homocigoto HLA, la elevada tasa de recombinación de ciertas asociaciones HLA. Pero otros parámetros están en proceso de estudio y hemos observado, por ejemplo, que los Kel Kummer presentan la mayor frecuencia mundial (26 %) de una hemoglobina particular, la hemoglobina Douled Rabah. Sin duda, todavía hay aspectos a descubrir en lo que concierne a la genética de esta población tuareg. ■



## Para más información:


■ Bajo la dirección de A. Jacquard, «L'étude des isolats», obra colectiva, INED, Paris.

■ L.L. Cavalli-Sforza, W.F. Bodmer, «The Genetics of human populations», Freeman, San Francisco, 1971. Hay edición en castellano en prensa (ed. Omega, Barcelona).

■ A. Chaventré, «Anthropologie des Kel Kummer et apparentés, cahier INED, 900 p., PUF (en prensa).

■ J. Dausset y J. Colombani (eds.), «Histocompatibility testing», Munksgaard, Copenhague, 1972.

■ A. Jacquard, «The genetic structure of populations», vol. 5, Springer Verlag, Berlin, Nueva York, 1974.



SUSCRIBASE a
MUNDO CIENTIFICO
LA RECHERCHE, version en castellano

Rellene y envíenos su cupón
página 470

**Fue un ingeniero de comunicaciones quien descubrió la radioastronomía en 1931. Los astrónomos sólo se interesaron mucho después.**

# Karl Jansky y los orígenes de la radioastronomía

Hace cincuenta años, el ingeniero americano Karl Jansky, de los Laboratorios Telefónicos Bell descubrió casualmente la emisión de radio de la Vía Láctea.(1) Aunque la fecha de 1931 sea reconocida por todos como la del nacimiento de una rama de la astronomía que modificó profundamente nuestra concepción del Universo, debemos señalar que varias tentativas deliberadas de detección de una eventual emisión de radio del cielo tuvieron lugar a partir del descubrimiento de las ondas de radio por Hertz (1888). La primera —de la cual no se sabe si se efectuó realmente— fue debida a Edison. La más conocida es la del francés Nordmann que en 1902 instaló una antena de 175 m de longitud, provista de un detector a 3100 m de altitud, sobre las laderas del Mont Blanc «para eliminar, tanto como fuera posible, la acción absorbente de la atmósfera». Nordmann predijo muy correctamente que las emisiones de radio intensas debían estar asociadas con la actividad de las manchas solares, y atribuyó el fracaso de su observación a la absorción atmosférica. De hecho, al igual que el equipo de Edison, el de Nordmann, solamente era sensible a ondas muy largas que no atraviesan la ionosfera.

## «Un silbido continuo de origen aún desconocido»

Todos estos ensayos infructuosos fueron rápidamente olvidados. Sin embargo, las técnicas de radio hicieron rápidos progresos y la «telegrafía sin hilos» ya estaba bien desarrollada en los años 20; la investigación sobre estas técnicas era floreciente tanto en las universidades como en firmas industriales, tales como Marconi en Inglaterra (más tarde Pathé-Marconi) y los Laboratorios Telefónicos Bell en los Estados Unidos. Karl Jansky fue un joven ingeniero que se incorporó en 1928 a esta última institución, donde se le encargó estudiar la naturaleza y el origen de los parásitos que perturbaban las comunicaciones por radio en las longitudes de onda del orden de los 15 m. Con este fin, hizo construir una antena direccional de gran tamaño (alrededor de 30 m de longitud) capaz de girar sobre un carril de modo que pudiese conocer aproximadamente la dirección de llegada a los parásitos (véase fig. 1). La antena daba una vuelta cada veinte minutos. Las observaciones continuas comenzaron a finales de 1931 y Jansky comprendió rápidamente que estaba observando algo completamente nuevo.

En su primer articulo de 1932,(2) diferenció tres clases de emisión de radio captadas con su antena: las fuertemente intermitentes que proceden de tormentas locales, las que resultan de la reflexión en la ionosfera de ondas emitidas por tormentas lejanas, y por último, «un silbido continuo de origen aún desconocido». Pensó primero que esta última era un parásito de origen humano, pero al advertir más tarde que procedía aproximadamente de la dirección del Sol, le dio un origen solar. Sin embargo, no tardó en observar que la emisión máxima se desviaba continuamente respecto a la dirección del Sol, lo que demostraba que el Sol no era la fuente de las ondas de radio. Después de un año de anotaciones, Jansky dedujo en 1933 que «la fuente principal mantiene una posición fija en el cielo, recorriéndolo con una periodicidad de 23 horas 56 minutos, característica tanto de los objetos celestes como de las estrellas».

Además, señaló la coincidencia entre esta dirección y la del centro de la Galaxia, en la constelación de Sagitario. En la parte propiamente astronómica de su trabajo, Jansky fue ayudado por un ami-

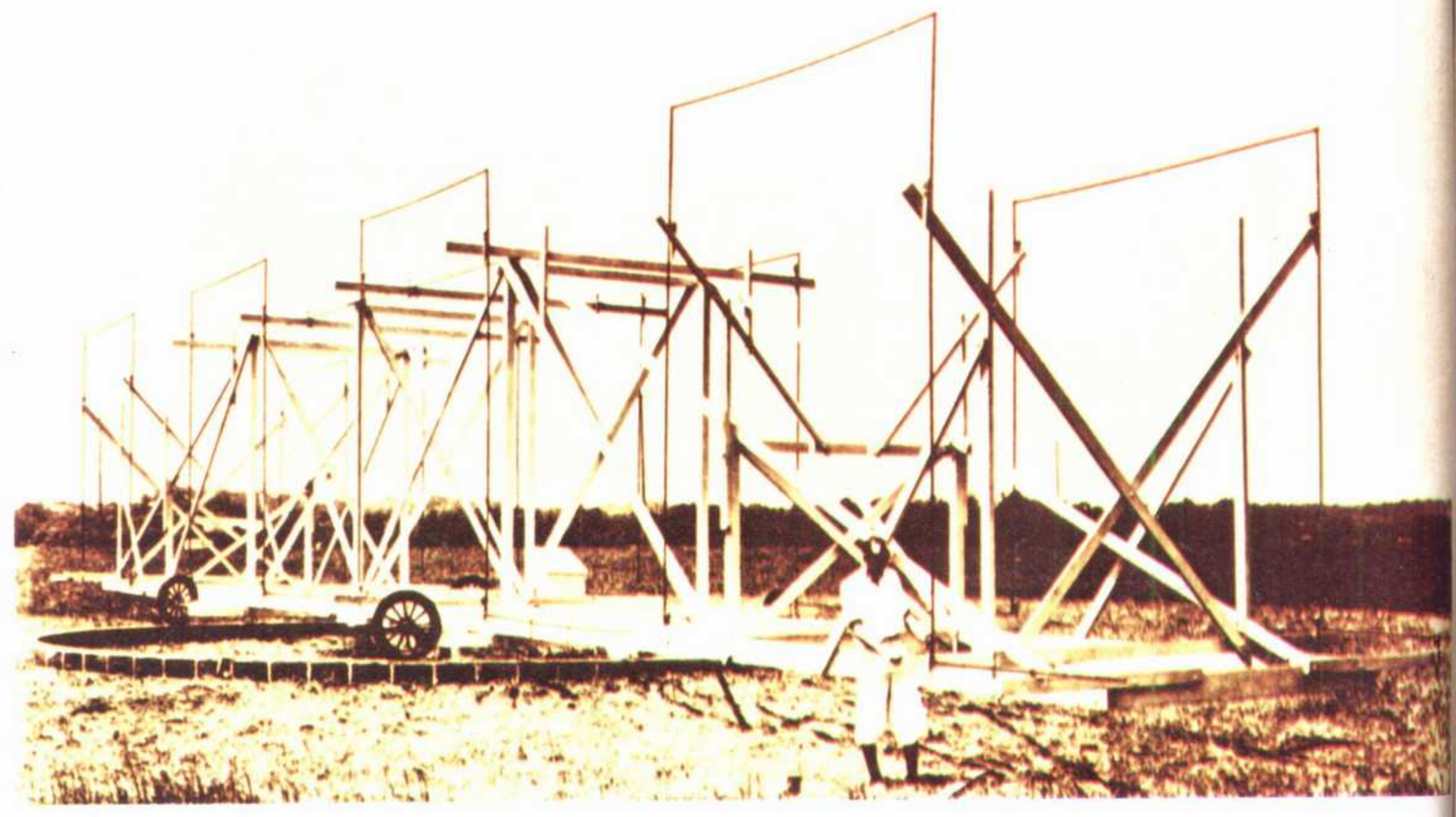


Figura 1. **La antena empleada por K. Jansky, para el descubrimiento de la emisión de radio de la Galaxia. El personaje es el mismo Jansky.** (Fotografía Laboratorios Bell.)

(1) La historia de la radioastronomía es descrita en el pequeño libro de J.S. Hey, «The evolution of radioastronomy», Londres, 1973. Puede encontrarse una relación detallada del trabajo de Jansky en W.T. Sullivan III, *Sky and Telescope, 56,* p. 701, 1978.
(2) *Proceedings of the Institute of Radio Engineers, 20*, 1920, 1932.

go, A.M. Skellet, que también era ingeniero en los Laboratorios Bell y hacía simultáneamente una tesis doctoral de astronomía.

Otro artículo de Jansky, aparecido en 1935, analizó de nuevo sus observaciones de modo más detallado deduciendo que la emisión no procede sólo del centro galáctico, sino de toda la Vía Láctea. Se preguntó también sobre su origen. La explicación *a priori* más sugestiva fue la de que eran las mismas estrellas las que emitían ondas de radio, pero entonces, ¿por qué no detectó la emisión del Sol? Esto le condujo a especular «que la radiación podría ser producida por alguna agitación térmica de las partículas cargadas. Dichas partículas no sólo se encuentran en las estrellas, sino también en la materia interestelar distribuida en cantidad considerable por la Galaxia». Efectivamente, este mecanismo es, junto con la radiación sincrotónica, uno de los que produce la emisión de radio de la Galaxia (fig. 2).

Aunque los resultados de Jansky fueron expresados de manera simple, revelan la capacidad de observación, la lógica, la imaginación y la perseverancia que caracterizaron al gran investigador. Nada tan penoso que a pesar de una cierta publicidad,[3] ninguna universidad ni organización astronómica se sintiera motivada para seguir tales investigaciones. En los Laboratorios Telefónicos Bell, Jansky no fue autorizado para continuar trabajando en la misma línea, puesto que había alcanzado el objetivo que se le había asignado: medir la intensidad y la dirección de llegada de los parásitos susceptibles de afectar la radiotelegrafía. Su propuesta de construir una antena parabólica de 30 m de diámetro fue considerada como un gasto injustificado y por tanto rechazada. Por esa razón, abandonó definitivamente el campo de investigación que había abierto, prosiguiendo su trabajo en los Laboratorios Bell con éxito hasta su prematura muerte, 44 años, en 1950.

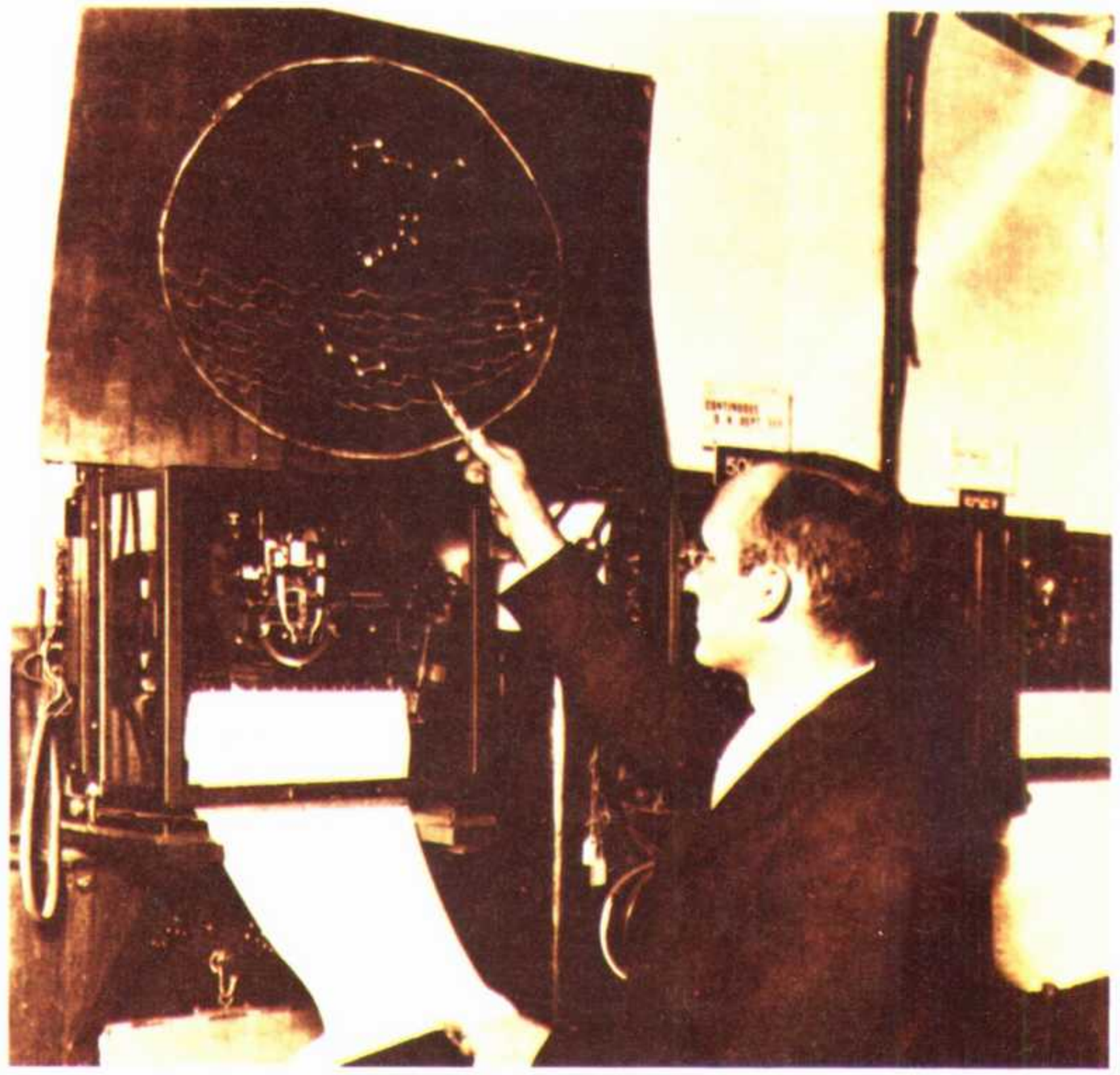


Figura 2. **K. Jansky muestra en un mapa celeste la Vía Láctea, responsable de las ondas de radio registradas sobre el papel que tiene en la mano.** (Fotografía Laboratorios Bell, 10 oct., 1933.)

### Un segundo ingeniero de radio

Los únicos astrónomos de la época que estuvieron verdaderamente interesados por el descubrimiento de Jansky, parecen ser R.M. Langer del «California Institute of Technology», y F.L. Whipple y J.L. Greenstein, del «Harvard College Observatory». Del primero, no se posee al respecto más que un breve resumen de 1935. Los dos segundos discutieron en un artículo la posibilidad de que la emisión galáctica fuese la radiación térmica de la materia interestelar, concluyendo que esto no era posible (un buen ejercicio de astrofísica teórica, aunque nada estimulante). Después, nada más. La antorcha no fue recogida por ningún astrónomo, sino por otro ingeniero de radio norteamericano que a la vez era un apasionado radioaficionado: Grote Reber.[4] En 1936, decidió construir en su jardín un paraboloide de 9 m de diámetro. Solamente después de incesantes esfuerzos, en abril de 1939, logró detectar con éxito la Galaxia en una longitud de onda de 1,87 m, y más tarde el Sol en 1943. En 1940 aparecieron los primeros artículos referentes a la radioastronomía en la *Astrophysical Journal American,* uno de Reber, seguido de otro de Henyey y Keenan. Este último discutió de nuevo el mecanismo de la radiación de radio galáctica basándose en las observaciones de Jansky y de Reber sin llegar no obstante, a explicar la enorme intensidad observada en las ondas decamétricas. La explicación sólo fue lograda en 1953 por el soviético J. Shklovskii. Pero la radioastronomía no se puso realmente en marcha hasta 1946. Los primeros grupos de radioastronomía no fueron creados en el seno de los observatorios, sino en los laboratorios de física (por ejemplo en Francia, en el laboratorio de física de la Escuela Normal Superior). En su mayor parte estaban formados por ingenieros de radio y físicos. Solamente hacia 1952 esta nueva disciplina comenzó a ser verdaderamente reconocida por los astrónomos tradicionales, pero sin ser integrada totalmente en la astronomía clásica.

En opinión de numerosos investigadores norteamericanos, los trabajos de Jansky, y más tarde de Reber, tuvieron al principio menor resonancia en su país que en el extranjero. Actualmente, los Estados Unidos han recuperado ampliamente su retraso; el presupuesto para la radioastronomía alcanza la mitad del de toda la astronomía que se hace desde tierra, como ocurre en otros muchos países.

Volviendo a Jansky, me parece interesante comparar su descubrimiento con el que hicieron A. Penzias y R. Wilson en 1965. En efecto, fue midiendo las propiedades de una nueva antena como estos últimos descubrieron casualmente la radiación radioisótropa del Universo, de la que se desprenden profundas implicaciones cosmológicas (y que valió en 1978 el premio Nobel a sus autores). Menos ingrata y más perspicaz que en el caso de Jansky, la administración de los Laboratorios Bell, alentó y alienta todavía las investigaciones astronómicas de Penzias y Wilson, lo que les ha permitido detectar, junto con sus colaboradores, un gran número de moléculas interestelares.

*James Lequeux.*

(3) Los artículos de Jansky fueron publicados en *Nature, Popular Astronomy,* y en el *New York Times* del 5 de mayo de 1933 a toda columna en primera página. Asimismo se difundió una emisión de radio que permitió oír el «ruido de las profundidades del Universo» (el cual según el comentarista, hacía pensar en el sonido del «vapor saliendo de un radiador»).

(4) El mismo G. Reber describe sus primeras investigaciones en *Proceedings of the Institute of Radio Engineers, 46,* 16, 1958.

# Las estrellas dobles

por C. de Loore

**Camiel de Loore** es director del Instituto de Astrofísica de la Universidad Vrije de Bruselas.

**Las estrellas se forman por condensación y contracción de grandes nubes de hidrógeno en el medio interestelar. En el interior de las estrellas reinan temperaturas de varios millones de grados y muy altas densidades; en estas condiciones, tienen lugar reacciones nucleares que transforman el hidrógeno en helio. Al agotarse la reserva de hidrógeno, la estrella se expande y se convierte en una gigante roja. Para una estrella aislada este proceso se produce sin restricción, pero en una estrella doble puede suceder que la componente más masiva, que es la más evolucionada, transfiera materia a su compañera. Este proceso puede continuar hasta que la estrella, que inicialmente era la más ligera, se convierta en la más masiva, y viceversa. Esto ocurre en un tiempo relativamente muy corto, unas decenas de millares de años.**

Las estrellas dobles tienen una importancia excepcional para los astrónomos. En primer lugar, porque la mitad de las estrellas pertenecen a tales sistemas, llamados indistintamente dobles o binarios, por lo que la evolución de las binarias juega un papel importante en la evolución estelar en general. En segundo lugar, porque el parámetro fundamental de una estrella, su masa, sólo puede ser determinado directamente si la estrella forma parte de un sistema doble. Por otra parte, mientras la evolución de estrellas aisladas tiene lugar sin restricciones, la expansión de una de las componentes de un sistema doble compacto es perturbada por su compañera, hasta el punto de que esta vecina glotona puede apropiarse durante esta expansión de una fracción de la masa que pertenecía a su compañera. De esta forma, puede transferirse materia de una componente a otra, y la estrella, que inicialmente era la más masiva, terminará por ser la más ligera. Según la importancia de su masa inicial, esta componente «adelgazada» puede terminar su vida bien como una enana blanca, bien, después de una grandiosa explosión correspondiente a la formación de una supernova, dejar como residuo una estrella de neutrones o incluso un agujero negro.

Estas estrellas de neutrones son extraños objetos cuya masa es tan grande como la del Sol, pero cuyo radio no supera los diez quilómetros. Un cálculo sencillo nos indica que su masa específica es enorme: ¡un centímetro cúbico equivale a mil millones de toneladas! Más comprensible aún: estos pequeños objetos muy compactos emiten una energía un millón de veces mayor que la emitida por el Sol, aunque, todo hay que decirlo, durante poco tiempo. Vamos a someter a las estrellas dobles a un examen minucioso; si seguimos su evolución paso a paso, podremos precisar cómo se pueden formar estos objetos compactos finales.

### Nacimiento y muerte de las estrellas

Hablemos primero de las estrellas aisladas. En el origen, se forman por contracción y condensación a partir de enormes nubes de hidrógeno y polvo. La nube original se divide en varios fragmentos, y además cada fragmento se contrae. Los nuevos fragmentos se subdividen de nuevo en partes más pequeñas hasta que se forman nubes que ya no se fraccionan, pero que continúan, sin embargo, contrayéndose para formar protoestrellas.

La temperatura y densidad de la nube crecen por contracción y alcanzan en un cierto momento los valores críticos, más allá de los cuales se inician las reacciones de fusión nuclear (temperatura superior a treinta y cinco millones de grados Kelvin). Por medio de estas reacciones nucleares, el hidrógeno se convierte en helio y se liberan cantidades fantásticas de energía que, bajo la forma de radiación, pasan de las regiones del centro hacia las zonas exteriores, y abandonan la estrella a través de su superficie. La parte central de la estrella donde tienen lugar las reacciones reciben el nombre de núcleo. Como consecuencia de los procesos nucleares, este núcleo se enriquece paulatinamente cada vez más en helio. Durante este período, el radio de la estrella crece ligeramente. En el curso de esta fase evolutiva en la que el hidrógeno se convierte en helio, las estrellas tienen propiedades sensiblemente constantes y se encuentran sobre lo que se llama la secuencia principal (V. fig. 1).

Cuando se agota en las regiones centrales la reserva disponible de hidrógeno, la estrella sufre cambios considerables en su estructura. En primer lugar, tiende a mantener su luminosidad constante y, como no hay combustible suficiente para proporcionar la energía necesaria para este propósito, la estrella va a producirla a partir de su energía gravitatoria por medio de una nueva contracción. En el curso de esta contracción, las condiciones en las capas exteriores del núcleo son tales que continúa la fusión del hidrógeno: es lo que se llama la combustión del hidrógeno en capa. El núcleo de la estrella compuesto de helio puro se contrae, mientras las partes exteriores de la estrella se expanden notablemente (V. fig. 2). La estrella se va a convertir en una supergigante o en una gigante roja según que sea más o menos masiva. El aumento de la temperatura conduce al inicio de una nueva serie de reacciones nucleares por las que el helio se convierte en carbono y oxígeno.

La evolución de una estrella se caracteriza por una serie de contracciones de las zonas centrales, interrumpida por

**El nacimiento de una estrella doble se produce a partir de una nube compuesta esencialmente de hidrógeno, helio y polvo. Partes de esta masa de gas se contraen y dan origen a estrellas, que, al principio, emiten en el infrarrojo, después en el rojo y el amarillo, y en el caso de las estrellas masivas en el azul. La estrella de mayor masa —que es también la de mayor diámetro y que en la figura aparece rodeada con el círculo mayor— evoluciona con más rapidez que las demás. Ya desde su formación comienza la fase de combustión del hidrógeno y más adelante continúa con la fusión de helio en el núcleo. La estrella aumenta de tamaño de modo considerable y acaba convirtiéndose en una gigante roja. Llega a alcanzar tales proporciones que la materia abandona su envoltura en grandes cantidades; una parte de esta materia se dirige hacia la compañera, que, después de haberla incorporado, se hace mucho mayor y más pesada; otra fracción determinada se pierde en el medio interestelar. De la gigante roja sólo queda un núcleo de helio; su compañera, en cambio, se ha convertido en una estrella azul radiante. El sistema se conoce como binaria de Wolf-Rayet. La estrella de helio continúa su evolución y termina por estallar : entonces, se forma una estrella de neutrones, rodeada de una nebulosa. La compañera prosigue su evolución y va perdiendo su materia progresivamente. El sistema se convierte en una estrella doble X. La estrella luminosa empieza también su proceso de fusión del helio, se convierte en una gigante roja y pierde materia, que se instalará alrededor del sistema formando una nube. Los restos de esta estrella al final del transporte de masa se han convertido en una estrella de helio, lo que significa que ha nacido un nuevo sistema Wolf-Rayet. Esta estrella de helio estallará a su vez, cuando su proceso de evolución haya alcanzado el umbral crítico. El bello sistema de decenas de masas solares existente al principio del proceso se ha descompuesto en dos estrellas de neutrones, que poseen tan sólo algunas masas solares y que se mueven en direcciones distintas.**

**La mitad de las estrellas pertenecen a sistemas dobles.**

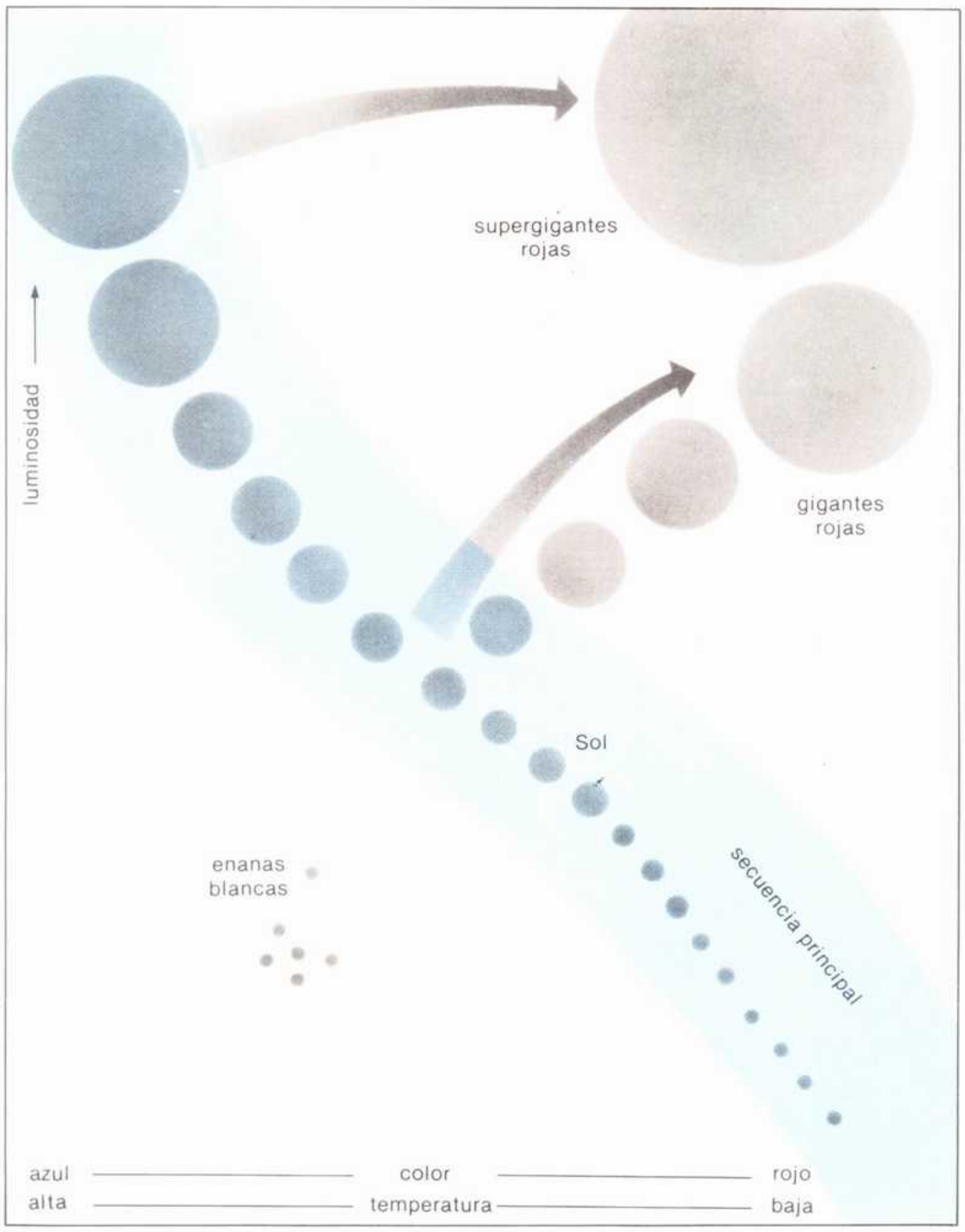



Figura 1. **El diagrama de Hertzsprung-Russell muestra la luminosidad de las estrellas en función de su color o de su temperatura. El diámetro de las estrellas está indicado por círculos (la escala no es exacta). La mayor parte de las estrellas se distribuyen sobre la secuencia principal. Durante la primera fase de su evolución, es decir durante la combustión del hidrógeno, la estrella recorre la secuencia principal de izquierda a derecha. Más tarde, durante la combustión del helio, la estrella se dirige hacia la derecha, se infla enormemente y se convierte en una gigante (o supergigante) roja como se indica mediante las flechas gruesas.**

períodos de reacciones nucleares sucesivas que prolongan su vida. Estos períodos sucesivos se presentan en el cuadro 1. Durante la fase de combustión del hidrógeno, el radio de la estrella se conserva relativamente pequeño. El núcleo convectivo, es decir, el lugar donde los componentes químicos, hidrógeno y helio, están totalmente mezclados, representa entre el quince y el cuarenta por ciento de la masa total, según el valor de dicha masa.

Las estrellas masivas viven mucho menos tiempo que las estrellas de poca masa: la gran presión y la elevada temperatura que reinan en el interior de las estrellas masivas aceleran las reacciones de fusión nuclear, lo que disminuye la duración de su vida. Después del agotamiento del hidrógeno en el núcleo, éste se contrae y se calienta, lo que provoca la expansión de las capas externas más frías. La estrella se convierte así en una gigante con un radio varios centenares de veces mayor que el radio solar. Durante esta fase de gigante, los núcleos de helio se fusionan para producir carbono.

### Cuando las estrellas recorren el universo por parejas

Las estrellas dobles o binarias constituyen un fenómeno corriente en el universo. Su frecuencia es muy superior a la de los gemelos humanos. Hace ya tiempo que sabemos que no puede establecerse una teoría adecuada de la evolución estelar sin tener en cuenta la existencia de los sistemas dobles.

La primera estrella doble fue descubierta en 1650, cuando Riccioli, observando con su telescopio la estrella Mizar —la penúltima estrella de la cola de la Osa Mayor— constató que de hecho estaba compuesta de dos estrellas. Desde entonces han sido catalogadas millares de estas «binarias visuales». Al principio no se sabía con exactitud si se trataba realmente de estrellas que formaban una pareja ligada. Observaciones minuciosas referidas a largos períodos de tiempo han demostrado que cada una de las componentes de la mayor parte de estas estrellas dobles describe una órbita en torno a la otra; por consiguiente, están ligadas físicamente. Los períodos de revolución de estas estrellas dobles visuales varían entre una decena y varios centenares de años.

En 1889, el astrónomo Pickering, de Harvard, observó que esta misma estrella Mizar tiene bandas en el espectro tanto sencillas como dobles, y en este último caso pudo comprobar que la separación entre estas rayas varía periódicamente. Su conclusión fue que la componente más brillante de Mizar es a su vez doble y está compuesta por dos estrellas de aproximadamente la misma magnitud, si bien Mizar en su conjunto es una estrella triple. El periodo de la binaria compacta es de 20,54 días. Se trata en este caso de una binaria espectroscópica. El carácter binario sólo se revela entonces por el desplazamiento de las rayas espectrales que mide la velocidad de alejamiento o de acercamiento de las componentes gracias al efecto Doppler. Si las luminosidades son comparables, se observan alternativamente rayas desdobladas y rayas sencillas. Si una de las componentes tiene un movimiento dirigido hacia nosotros (lo que tiene como consecuencia que sus rayas espectrales se desplacen hacia longitudes de onda más pequeñas, es decir, hacia el azul), mientras la otra se aleja de nuestro campo de visión (sus rayas espectrales se desplazan entonces hacia el rojo), el efecto global consiste en que las rayas se desdoblan. En el caso en que una de las dos componentes sea mucho más brillante que la otra, no se aprecia una descomposición de las rayas, sino un simple movimiento de vaivén de la longitud de onda de las rayas de la estrella más brillante durante el movimiento orbital. Cuando el movimiento de las dos componentes es perpendicular a la dirección de observación, no se produce efecto Doppler y las rayas espectrales son sencillas (V. fig. 3).

En el caso de binarias con un corto período de revolución (es decir, aquellas en que las componentes están muy próximas, —estas binarias se llaman compactas—), puede ocurrir que una componente desaparezca detrás de la otra. En 1669, el italiano Montanari descubrió que la estrella más brillante de la constelación de Perseo, la estrella Algol, varía en brillo intensamente. En 1783, Goodricke, quien constató que el fenómeno presenta una periodicidad del orden de 2,87 días, propuso una explicación. Una compañera oscura debía girar en torno a Algol e interponerse periódicamente entre nosotros y la estrella brillante (V. fig. 4). En 1889, se descubrió que Algol es una binaria espectroscópica, y que el período es el mismo que el de los cambios de brillo, es decir alrededor de 2,87 días.

La mayor parte de las estrellas dobles, como Algol, llamadas eclipsantes tienen cortos períodos de revolución, a menudo inferiores a diez días. Sin embargo, se conocen excepciones: existen sistemas cuyos períodos son superiores a un año. La binaria eclipsante VV Cephei tiene un período de ¡más de veinte años! En este sistema una estrella luminosa gira alrededor de una supergigante roja, que tiene un radio superior a 1 000 radios solares. Durante 225 días cada veinte años, la estrella brillante es eclipsada por la supergigante roja.

### Una superficie crítica para la evolución

Pero ¿cómo influye la presencia de una compañera en la evolución de una estrella? En un sistema muy separado, la componente más masiva, que es la que evoluciona más deprisa, puede dilatarse sin afectar a su compañera. Las dos componentes de una estrella de este tipo podrán pues evolucionar sin problemas hacia la fase de gigante, y ninguna de las dos interferirá en la evolución de la otra. Las dos componentes evolucionan, por tanto, como si fuesen estrellas aisladas.

Esto ya no es cierto para las binarias compactas, en cuyo caso deberán tenerse en cuenta los efectos mutuos. Comencemos por las binarias eclipsantes del mismo tipo que Algol. Tienen una particularidad muy característica: la estrella más brillante es una estrella normal, mientras que la compañera es una estrella denominada subgigante, que desde el punto de vista de su volumen se sitúa entre las estrellas de la secuencia principal (es decir, no evolucionadas) y las gigantes.

Del desdoblamiento periódico de las rayas espectrales, se pueden deducir las velocidades de las dos componentes en su órbita, y de la relación entre estas velocidades se deduce la existente entre las masas. En los sistemas del tipo Algol, la subgigante, que es la más evolucionada, tiene una masa netamente inferior a la de su compañera.

Éste es un hecho sorprendente en extremo porque, como demuestran los cálculos evolutivos, es la estrella más masiva la que evoluciona más deprisa. Ciertamente, ambas estrellas han nacido en la misma época, tienen, por tanto, la misma edad, y sin duda y con no poca ventaja la más masiva debería ser la que se encontrase más avanzada en su proceso evolutivo y hallarse en la fase de las gigantes.

Para encontrar una solución a este enigma es preciso remontarse al siglo XVIII. En dicha época, el astrónomo y matemático francés Lagran estudió el comportamiento de un cuerpo bajo el efecto de la atracción combinada de otros dos cuerpos, es decir, bajo el efecto del potencial gravitatorio creado por ambos cuerpos.

El conjunto de los puntos que tienen el mismo potencial constituye una superficie equipotencial. Entre las superficies equipotenciales, se encuentra una superficie crítica, compuesta por dos superficies en forma de pera, en torno a las dos estrellas, que están en contacto en el punto L1, llamado primer punto de Lagrange.

Édouard Albert Roche, otro matemático francés, calculó estas superficies equipotenciales en el caso en el que las dos estrellas son consideradas puntuales. En este caso, la superficie crítica recibe el nombre de superficie de Roche. El volumen interior a la superficie crítica alrededor de cada una de las dos estrellas es el lóbulo de Roche. Un punto cualquiera de la superficie crítica puede

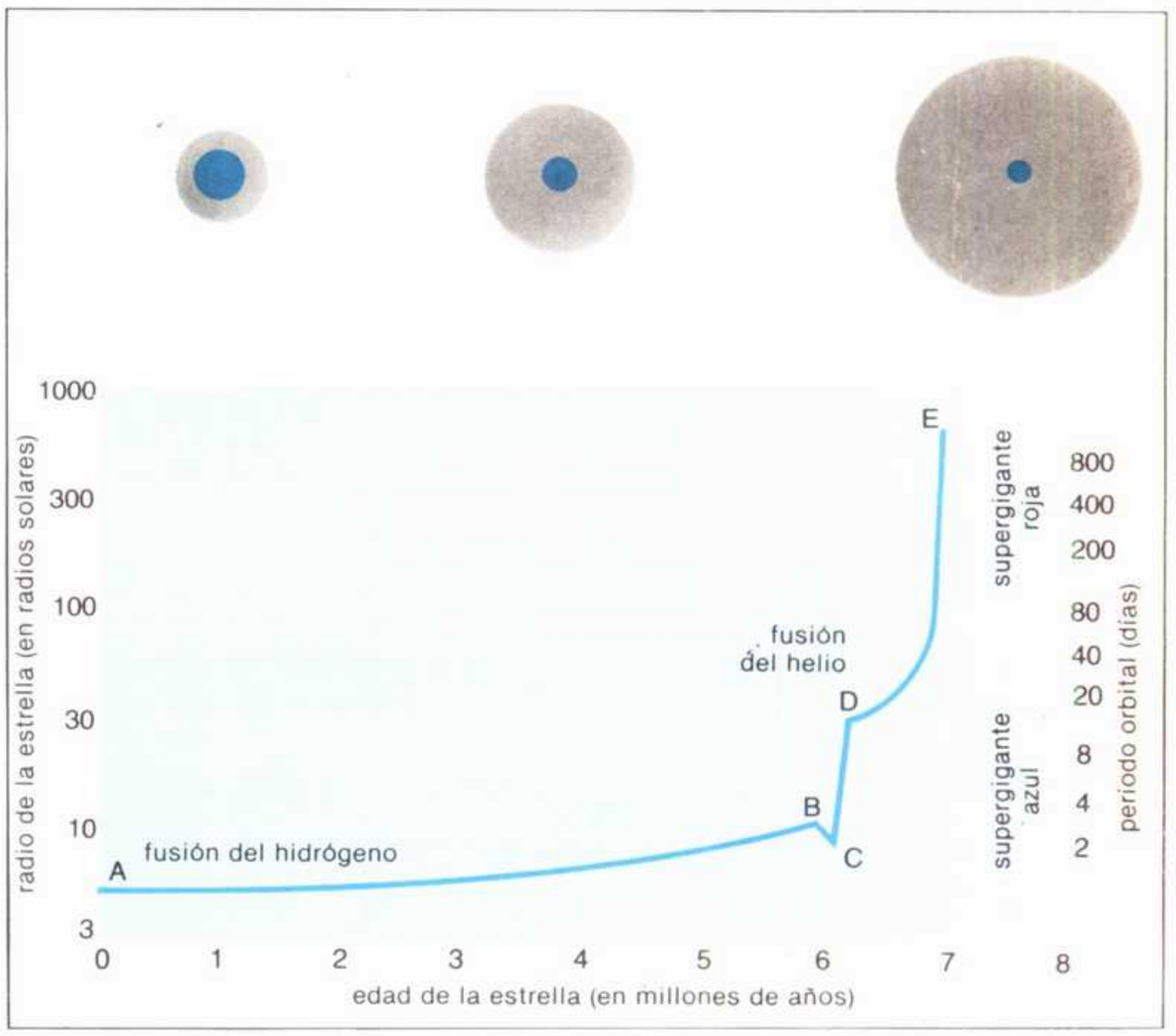



Figura 2. **Al nacer una estrella normal masiva se compone de un 70 % (20 masas solares) de hidrógeno, un 27 % de helio y un 3 % de elementos más pesados (en masa). Entre los puntos A y B, las reacciones nucleares transforman el hidrógeno en helio, en el centro de la estrella, a temperaturas que se aproximan a los 35 millones de grados. El radio de la estrella crece muy lentamente. En el punto B, la reserva de hidrógeno en el núcleo se ha agotado, lo que provoca una contracción de la estrella hacia el punto C. Entre los puntos C y D, la fusión del hidrógeno continúa en las regiones que rodean al núcleo de helio, y la estrella se agranda. En el punto D, la temperatura es lo bastante elevada (100 millones de grados) como para iniciar la fusión del helio. El radio crece de forma considerable y la estrella se transforma en una supergigante roja. En muchos sistemas dobles, el volumen de la estrella sobrepasa su volumen de Roche durante esta fase de expansión, entre C y D. La escala de la derecha indica los periodos de los sistemas binarios en los que la primaria llena exactamente su volumen crítico (se supone que la masa de la secundaria es de seis masas solares). (Esta figura muestra los resultados de los cálculos efectuados por el autor en colaboración con Jean-Pierre De Grève, del Instituto de Astrofísica de la Vrije Universiteit de Bruselas.)**

**Supernova, sistema durmiente, estrella de neutrones... otras tantas etapas que caracterizan la evolución de una estrella doble.**

desplazarse hacia otro punto de esta superficie sin que haya ninguna ganancia o pérdida.

Si en el curso de su evolución, la estrella más masiva S1 experimenta una expansión tan intensa que desborda su volumen de Roche crítico (volumen interior a la superficie crítica), perderá materia que irá a depositarse sobre la otra estrella S2. De esta forma, la estrella que inicialmente era la más masiva se convertirá en la más ligera, mientras su compañera se transformará en la más masiva. Como consecuencia de esta transferencia de materia, se modificarán la distancia entre las dos componentes y el período de revolución alrededor del centro de gravedad común. La ley de Newton nos dice que, si pierde materia la más masiva, disminuye el período del sistema; por el contrario, si es la menos masiva la que pierde masa —lo que puede producirse más adelante— el período aumenta.

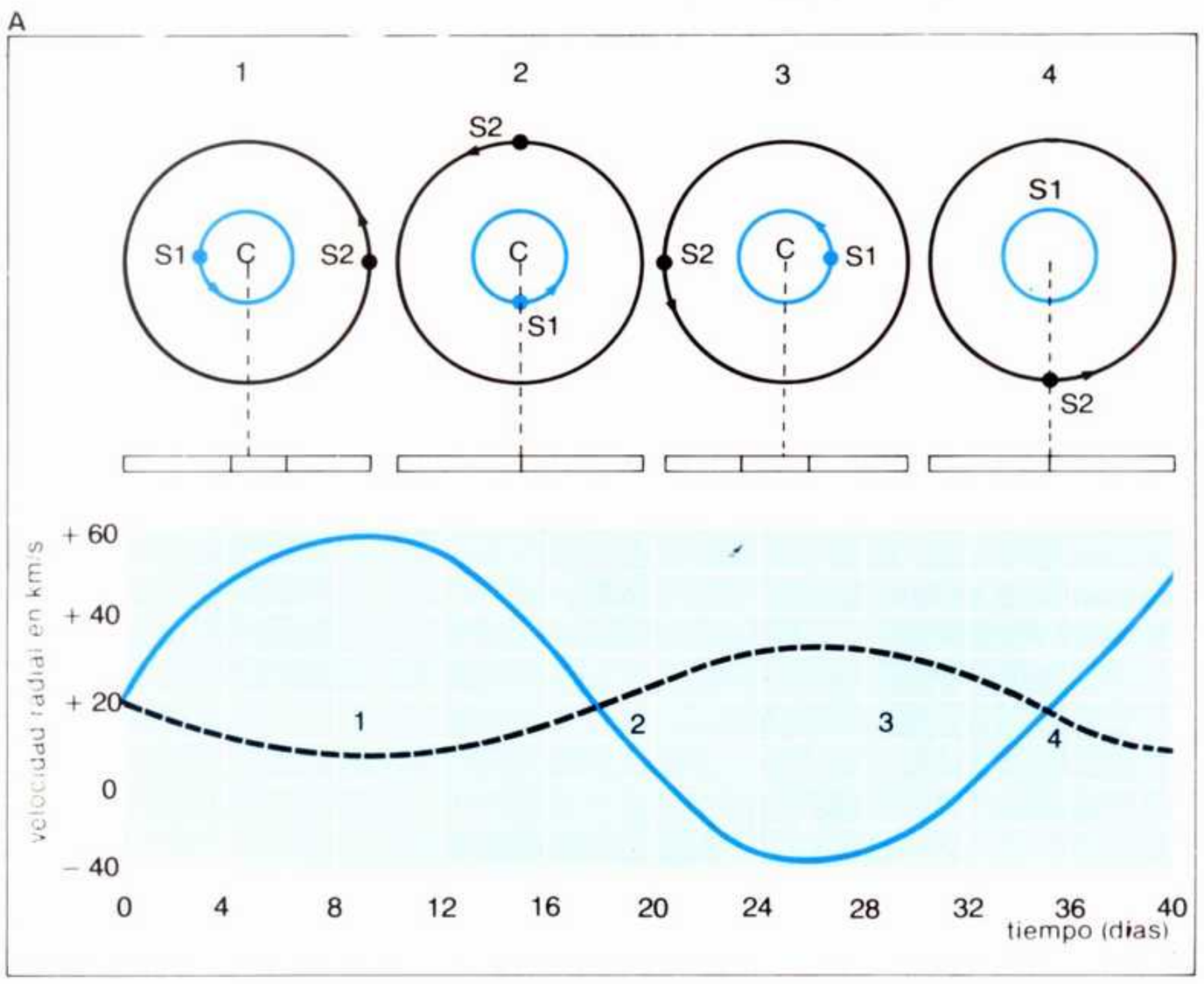



Figura 3. **Esta figura ilustra el comportamiento de una binaria espectroscópica de órbita circular, con un periodo de 35 días.**
A. **Se muestra el desplazamiento de una raya espectral, debido al efecto Doppler y la curva de velocidades radiales para la estrella $S_1$ (curva continua) y para la estrella $S_2$ (curva a trazos).**
**Posición 1: $S_1$ se dirige hacia nosotros, $S_2$ se aleja. En consecuencia, la raya es doble: una componente de la raya está desplazada hacia el azul, la otra lo está hacia el rojo.**
**Posición 2 y 4: las dos estrellas evolucionan perpendicularmente hacia la dirección de observación, no hay pues desplazamiento Doppler, y sólo se ve una raya. La velocidad radial de las dos componentes es igual a la del centro de gravedad del sistema, es decir igual a + 20 km/s, (el signo + significa convencionalmente que se aleja de nosotros).**
**Posición 3: $S_2$ se dirige hacia nosotros (—40 km/s). $S_1$ se aleja de nosotros (+ 30 Km/s). La raya es doble. La estrella $S_1$, al tener la velocidad orbital más pequeña, es la más masiva.**
B. **Estas dos imágenes del espectro de la binaria espectroscópica Mizar ilustran el esquema precedente para la raya de absorción del magnesio una vez ionizado. Dicha raya es única en el espectro A, tomado cuando las dos componentes se mueven perpendicularmente en la dirección de observación, y doble en el espectro B, obtenido cuando una de las componentes tiene un movimiento hacia el observador y la otra componente en sentido opuesto.**

**«Estrellas en fuga»**

Consideremos ahora las estrellas dobles masivas; éstas son estrellas binarias compactas cuya masa es superior a quince masas solares. La mayor parte de estas binarias masivas tienen períodos orbitales comprendidos entre dos y veinte días. En estos sistemas, las componentes sobrepasan sus volúmenes de Roche críticos durante la fase de expansión rápida de las capas exteriores de la componente más masiva. Los cálculos muestran que la transferencia de masa resultante tiene como efecto acelerar la expansión de estas capas externas y, como consecuencia de ello, la pérdida de materia finaliza después de la desaparición de toda la envoltura rica en hidrógeno, no dejando más que el núcleo de helio. En el «residuo», una estrella de helio puro inicia la fusión de dicho material y el radio de la estrella disminuye hasta valores que sobrepasan unas diez veces el radio solar. Una vez alcanzado este estadio, las binarias tienen una componente azul, luminosa, mientras la otra componente está compuesta por helio puro. Las estrellas dobles de esta clase son estrellas de Wolf-Rayet, tipo especial de estrellas con bandas de emisión descubiertas por los astrónomos franceses Wolf y Rayet. En nuestra galaxia, se conocen decenas de ellas. La evolución ulterior de los sistemas de este tipo, que conduce finalmente a la formación de binarias emisoras de rayos X, ha sido calculada con detalle por el autor y uno de sus colaboradores del Astrophysical Institute, Vrije Universiteit de Bruselas, Jean-Pierre De Grève, basándose en un modelo hipotético propuesto por E. Van den Heuvel de la Universidad de Amsterdam y J. Heise de la Universidad de Utrecht (Países Bajos). Estos cálculos predicen la evolución que expondremos a continuación, y la retoman desde el principio, para una binaria «clásica», constituida inicialmente por dos componentes de 20 y 8 masas solares. A poco más de seis millones de años después del nacimiento del sistema, la primaria de 20 masas solares comienza a transferir materia a su compañera. En sólo 20 000 años transfiere 14,6 masas solares; la primaria adelgazada sólo pesa ya 5,4 masas solares; la diferencia ha sido absorbida por la secundaria cuya masa es ahora de 22,6 masas solares. Los cálculos muestran que esta componente secundaria, que no había terminado todavía su fase de combustión de hidrógeno, continúa sumiéndolo durante cinco millones de años después del intercambio de materia. La acreción de una gran cantidad de hidrógeno «rejuvenece» la estrella y aumenta su período de vida. Por otra parte, después de la fase de transferencia de materia, el período or-

bital inicial, que era de 4,56 días, pasa a ser de 10,86 días. En cuanto a la primaria es ahora una estrella de helio. Tales estrellas evolucionan rápidamente porque sólo tienen a su disposición una débil cantidad de energía nuclear para alimentar su gran luminosidad. Estas estrellas de helio tienen una luminosidad que corresponde a la de las estrellas de hidrógeno de cuatro a cinco veces más masivas. La estrella de helio de 54 masas solares finaliza, pues, la combustión de su helio y carbono en los quinientos ochenta mil años que siguen a la fase de intercambio de materia. Durante este tiempo, no se desarrolla de forma considerable y permanece en el interior de su volumen crítico. Durante las fases ulteriores, el núcleo evoluciona quemando neón, oxígeno y silicio hasta experimentar un colapso final. Los cálculos muestran que, a lo largo de estas fases, la estrella permanece siempre en el interior de su volumen crítico y no hay nueva fase de transferencia de masa. Este tipo de evolución tiene lugar para estrellas con masas iniciales superiores a 4 ó 5 masas solares. Los núcleos de estas estrellas, y por tanto nuestra componente primaria, terminan su vida por una explosión en una capa intermedia. Las zonas internas colapsan, al formarse una estrella de neutrones o un agujero negro, mientras que las capas externas son expulsadas violentamente: es lo que se conoce como una explosión de supernova.

Podríamos preguntarnos acerca de cuál será el efecto de la explosión sobre el estado del sistema binario. El sistema se rompe o permanece unido según sean las masas de las componentes y la órbita, así como si la explosión ha sido simétrica o no. Los parámetros de los sistemas después de la explosión así como la probabilidad de que las componentes permanezcan unidas han sido calculados por J.-P. de Cuyper de nuestro Instituto (V. fig. 5). Este autor parte de explosiones asimétricas, que se traducen por una aceleración del centro de gravedad hasta una velocidad de 50 a 100 km/s, tras haber partido del supuesto que la velocidad con la que las capas sucesivas abandonan el núcleo explosivo es del orden de 10 000 km/s. Admite como residuo de la componente primaria una estrella de neutrones de una a dos masas solares. Estas condiciones se obtienen de la teoría de las supernovas y de la observación de sus residuos. Se deduce de estos cálculos que la mayor parte de los sistemas permanecen unidos. La expulsión asimétrica de una fracción de la masa de una de las componentes tiene, sin embargo, profundas consecuencias dinámicas sobre el sistema. Las órbitas se hacen extremadamente elípticas y el centro de gravedad

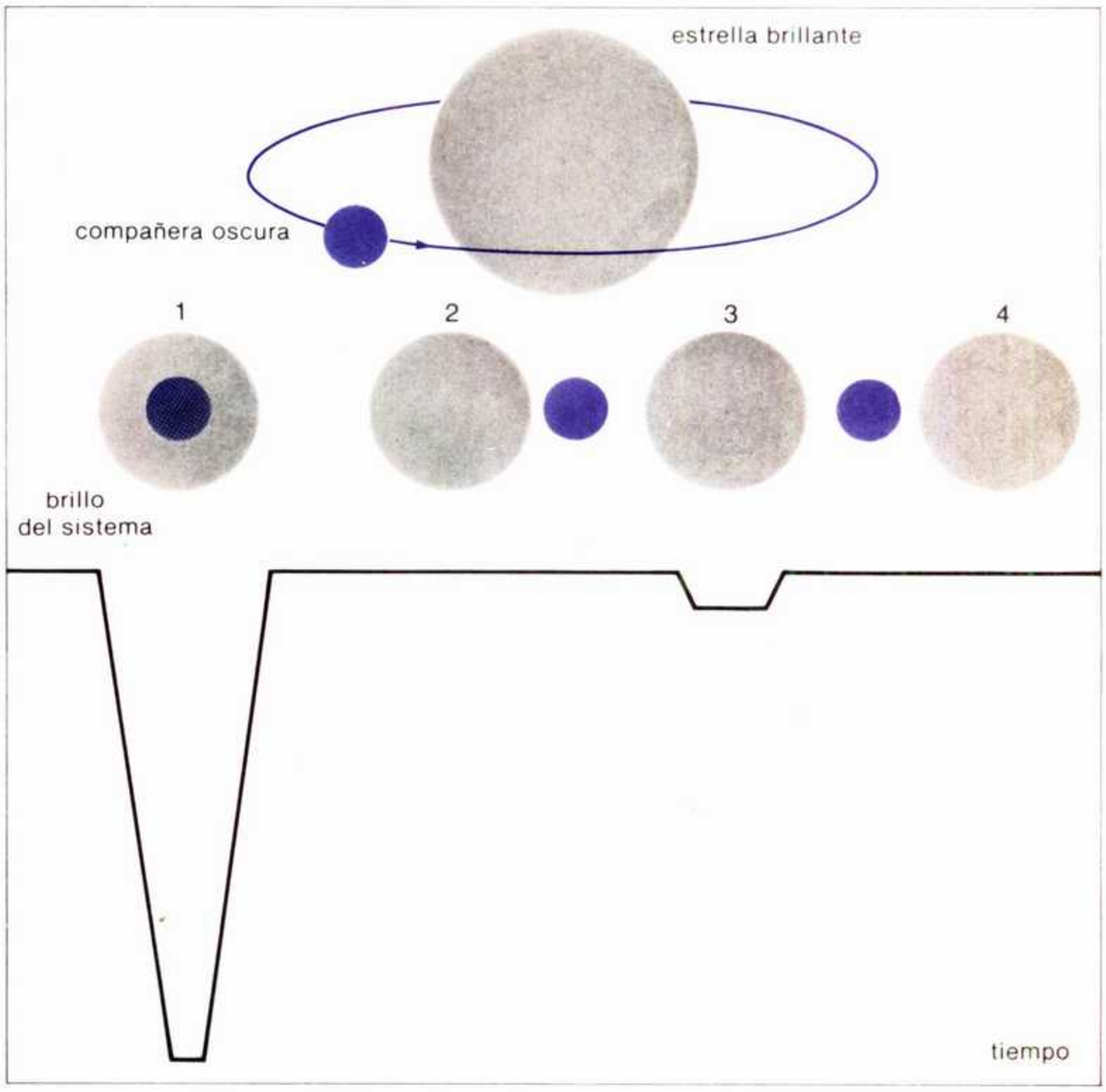



Figura 4. **En una binaria eclipsante, la estrella brillante y su compañera oscura toman diferentes posiciones. La curva de luz alcanza un mínimo (mínimo principal) cuando la compañera se encuentra delante de la estrella brillante (posición 1) y un mínimo secundario cuando la compañera se encuentra detrás de la estrella luminosa (posición 3). La curva de luz alcanza sus valores máximos cuando las dos componentes están separadas.**

fases sucesivas estables de las reacciones nucleares

| ACONTECIMIENTO | TEMPERATURA LÍMITE | OBSERVACIONES |
|---|---|---|
| contracción | | aumento de temperatura y densidad |
| fusión del hidrógeno | 5 a 10 millones K | producción de helio |
| contracción | | aumento de temperatura y densidad |
| fusión del helio | 100 millones K | producción de carbono, oxígeno, neón y magnesio |
| contracción | | aumento de temperatura y densidad |
| fusión del carbono | 600 millones K a mil millones K | producción de neón, sodio y magnesio |
| contracción | | aumento de temperatura y densidad |
| fusión del oxígeno | 1,4 mil millones K | producción de silicio y de fósforo |

**Una masa crítica, la de la estrella más masiva al principio. De ella depende el producto final.**

del sistema se acelera hasta una velocidad de 50 a 100 km/s. Así se puede formar «una estrella en fuga», en inglés «run-away star», es decir una binaria que se aleja de su posición de origen con una velocidad de algunas decenas de quilómetros por segundo. La componente secundaria rejuvenecida continúa, como se mencionó más arriba, durante cinco millones de años de su fusión de hidrógeno, y permanece durante este tiempo en el interior de su volumen de Roche. Sólo después de esta fase, alcanzará esta componente su límite crítico de Roche. Antes de ese momento no ha habido fase de transferencia de masa (V. fig. 6). La antigua componente primaria, convertida en estrella de neutrones, es observable inmediatamente después de la explosión como un pulsar joven, durante digamos los primeros cien mil años de su existencia. En cuanto a sus capas externas expulsadas durante la explosión, forman filamentos en expansión, que desaparecen por dilución después de cincuenta a cien mil años. Más tarde, la estrella de neutrones es prácticamente indetectable. Tales sistemas de estrellas brillantes con una compañera compacta reciben el nombre de «sistemas durmientes». En efecto, como en el cuento de la Bella Durmiente, el sistema se despertará en un cierto momento, cuando la compañera brillante alcance casi su límite crítico. El viento estelar que emite se hace cada vez más intenso, hasta el instante en que cae suficiente materia sobre la superficie de la estrella de neutrones. El calentamiento de este material, consecuencia de su compresión brutal, es tal que empieza a emitir rayos X. De esta forma el sistema se convierte en una binaria X, cinco millones de años después de ocurrida la explosión, en el caso concreto aquí estudiado.

Pero, antes de examinar con más detalle estas fuentes binarias de rayos X, es conveniente seguir describiendo la evolución del sistema. Después de unas decenas de millares de años de emisión de radiación X, la componente brillante, a consecuencia de su evolución, se convierte en una gigante roja y alcanza su volumen crítico. Se inicia una nueva transferencia importante de materia, ahora en sentido inverso del inicial, pues se dirige de la antigua componente secundaria a la primaria. La densidad de materia cerca de la estrella de neutrones es entonces tan grande que no se observa ya la radiación X; la fase X finaliza. Aparecen capas cada vez más ricas en helio, en la superficie de la componente que pierde masa. Hacia el final de la fase de transferencia de materia se origina un nuevo estadio de radiación X, cuando el flujo de material ha llegado a ser lo bastante débil. Una de las fuentes X que probablemente se encuentra en esta fase es el extraordinario objeto SS433 (V. *La Recherche*, n.º 106, p. 1259) compuesto por una estrella de neutrones y una compañera brillante rica en helio. Unos cuantos millares de años más tarde, la transferencia de materia ha finalizado casi definitivamente y el sistema aparece de nuevo como una binaria de Wolf-Rayet, que se presenta como una estrella aislada, pero que, en realidad está compuesta por una estrella de helio puro y de una compañera compacta. De estos sistemas se conocen actualmente seis: son las estrellas de Wolf-Rayet «en fuga». Durante la fase de transferencia de materia, la estrella de neutrones no ha aceptado casi nada de la masa expulsada por su compañera, que en su mayor parte se ha perdido para el sistema. También se pierde una considerable fracción del momento angular del sistema, lo que tiene como consecuencia que la estrella de neutrones termine por girar en espiral a través de la atmósfera de su compañera. Las dimensiones de la órbita y el período del sistema se reducen entonces considerablemente. En el sistema que nosotros hemos estudiado, el período se reduce a unas horas. De esta forma, cuando la distancia es óptima, la densidad de la materia perdida por la estrella de helio y capturada por la estrella de neutrones podría satisfacer los requerimientos para que se desencadene una tercera fase de emisión X: un ejemplo de sistema en esta fase podría ser la fuente Cygnus X-3, que tiene un período de 4,8 horas. La estrella de helio continúa su evolución y emprende la combustión del helio, del carbono, del oxigeno, etc., explotando a su vez finalmente. Sin embargo, al explotar la componente más masiva, hay una elevada probabilidad de que el sistema se rompa, y de que sus componentes acaben como dos estrellas de neutrones: una vieja y una joven, esta última observada como un pulsar, que aparecen aisladas con movimientos de dirección opuesta.

Otra posibilidad es que después de la fase «estrella de helio más estrella de neutrones», ambas estrellas se fusionen subsistiendo una estrella única, compuesta de un núcleo compacto y de una extensa envoltura. Esta envoltura terminará por abandonar el sistema, el cual finalizará su vida como una estrella de neutrones aislada.

### Un modelo cercano a la realidad

La descripción, ya de por sí compleja, de la evolución de un sistema doble masivo que acabamos de hacer sólo constituye en realidad un modelo muy simplificado, por lo que el cuadro tal y como se ha presentado correspondería en el campo musical a un arreglo para principiantes. En efecto, varios fenómenos observados demuestran que la realidad es más complicada. Así, durante la fase en la que la componente más masiva excede su límite de Roche, y pierde materia, no toda ella es recogida por la compañera, sino solamente una fracción, que no sobrepasa el cincuenta por ciento, perdiéndose el resto fuera del sistema. Por tanto, no cabe duda de que la evolución no actúa en favor del mantenimiento del sistema. Hay además pérdida de momento angular orbital, y el cálculo de la variación del período durante la fase de intercambio de materia es también complejo.

Otro factor que viene a complicar aún más los cálculos evolutivos de estrellas dobles consiste en el hecho de que las estrellas masivas pierden materia durante toda su existencia. A lo largo de todo el período de combustión de hidrógeno (lo que se llama la secuencia principal), las estrellas con masa superior a 15 masas solares sufren una pérdida de masa por viento estelar, engendrada probablemente por la presión de radiación. Esta pérdida de materia se mide sobre todo mediante observaciones en el ultravioleta; estas observaciones revelan que los ritmos de pérdida de materia son del orden de una millonésima de masa solar por año para las estrellas azules normales, y de diez a cien veces más para las estrellas de Wolf-Rayet. Estas pérdidas de materia tienen considerables repercusiones sobre la evolución: en efecto, una estrella de inicialmente 100 masas solares puede perder durante su fase de combustión de hidrógeno alrededor de unas 20 masas solares si es una estrella aislada, y probablemente más del doble si se trata de una binaria.

Hemos efectuado cálculos evolutivos de estrellas dobles a partir de hipótesis de evolución no conservativa. Muestran que, aunque cuantitativamente diferentes los resultados discutidos anteriormente, los resultados del caso son cualitativamente similares. Lo que es importante en todo el problema es la evolución de la estrella rejuvenecida, es decir de la estrella que ha recibido la materia perdida por su compañera. Esta evolución es muy sensible a la relación de las masas iniciales de las dos componentes (V. fig. 7).

Si la relación de las masas de las dos componentes no es demasiado cercana a 1, por tanto, si las masas difieren, las diferentes fases se suceden como se ha descrito más arriba, en el mismo orden. Por el contrario, si las masas de las componentes son aproximadamente iguales, las dos estrellas evolucionan casi de la misma forma, y experimentan las fases críticas (fin de la combustión

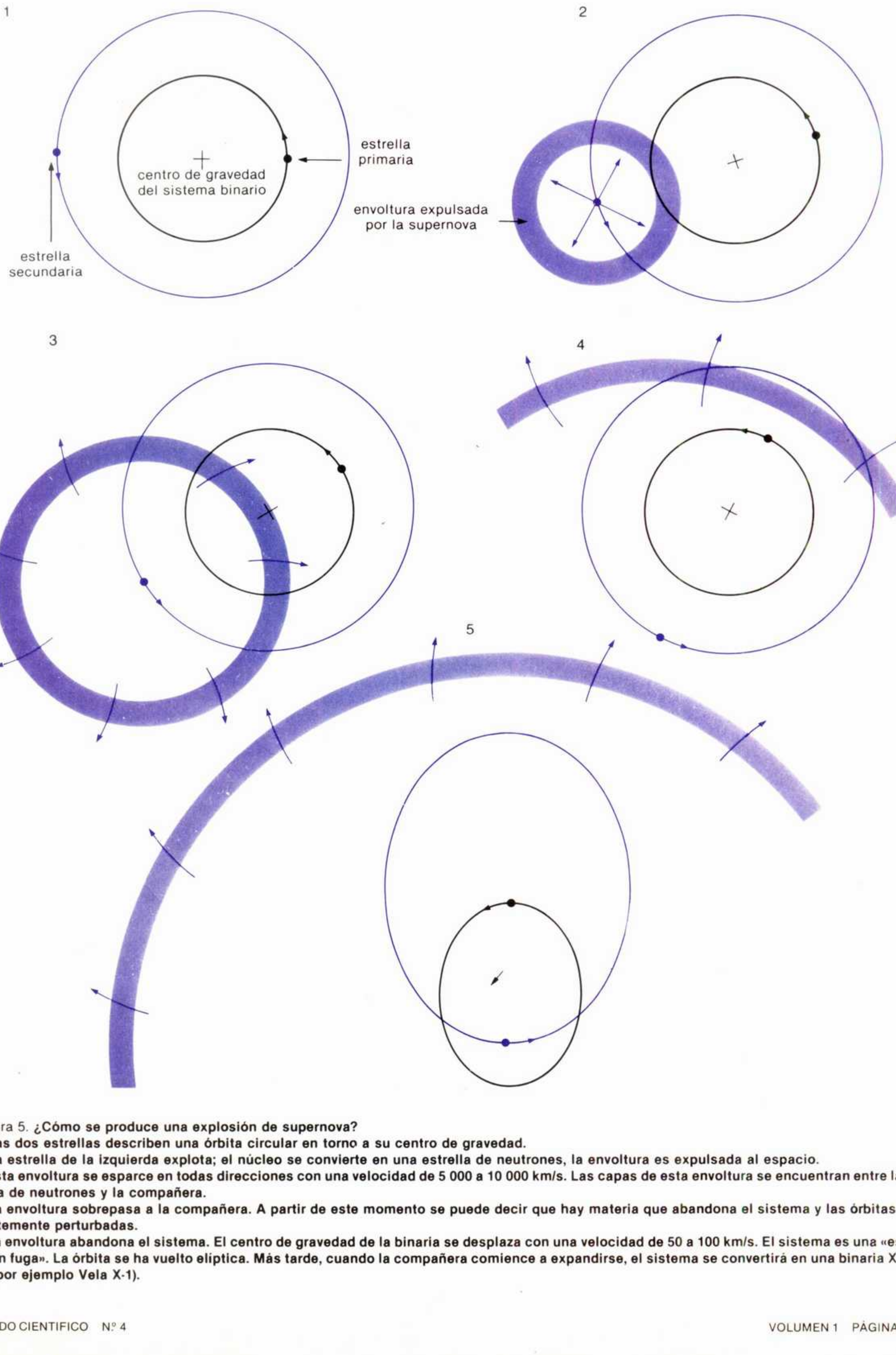



Figura 5. **¿Cómo se produce una explosión de supernova?**
**1. Las dos estrellas describen una órbita circular en torno a su centro de gravedad.**
**2. La estrella de la izquierda explota; el núcleo se convierte en una estrella de neutrones, la envoltura es expulsada al espacio.**
**3. Esta envoltura se esparce en todas direcciones con una velocidad de 5 000 a 10 000 km/s. Las capas de esta envoltura se encuentran entre la estrella de neutrones y la compañera.**
**4. La envoltura sobrepasa a la compañera. A partir de este momento se puede decir que hay materia que abandona el sistema y las órbitas son fuertemente perturbadas.**
**5. La envoltura abandona el sistema. El centro de gravedad de la binaria se desplaza con una velocidad de 50 a 100 km/s. El sistema es una «estrella en fuga». La órbita se ha vuelto elíptica. Más tarde, cuando la compañera comience a expandirse, el sistema se convertirá en una binaria X (como por ejemplo Vela X-1).**

**A partir de 1970 se lanzaron numerosos satélites que permitieron detectar la radiación característica de los sistemas dobles.**

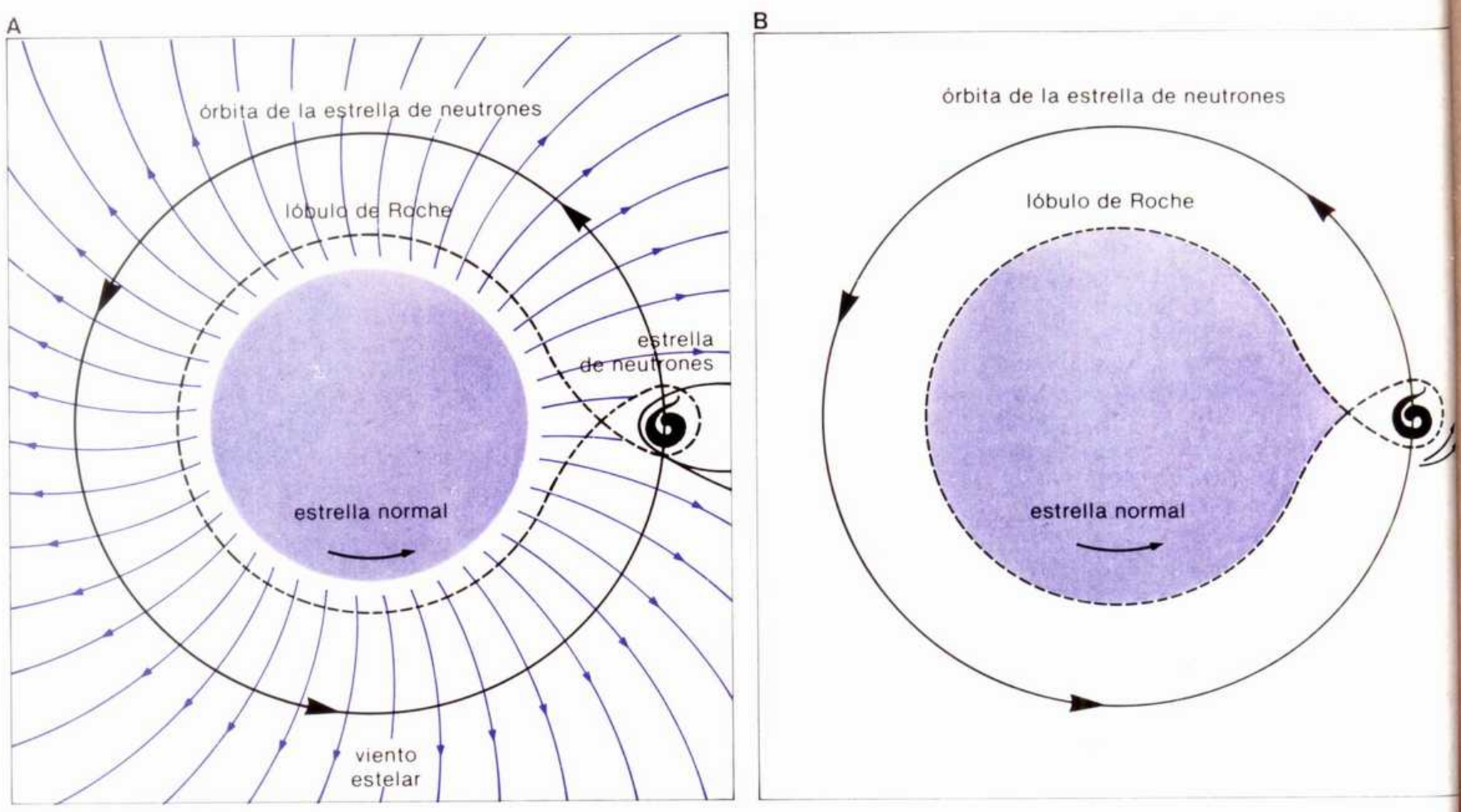



Figura 6. **Este modelo representa una estrella doble X. En el primer esquema** (A) **la estrella normal ocupa casi su volumen crítico. La estrella pierd materia bajo la forma de un viento estelar supersónico, a un ritmo de alrededor de una millonésima de masa solar por año. Este viento estelar, i tensificado por el hecho de que la estrella está cerca de su radio crítico, se desacelera cuando se acerca a la estrella de neutrones. Incluso una p queña fracción, digamos una milésima de la materia perdida por su compañera, es suficiente para generar rayos X.**
B. **Cuando la estrella alcanza completamente su volumen crítico, el transporte de materia es de tal intensidad que la radiación X emitida en torn de la compañera compacta es reabsorbida por el gas exterior y no llega ya hasta nosotros.**

del hidrógeno, transporte de materia) casi en el mismo momento. Cuando la primaria explota, la secundaria acaba de finalizar su fase de transporte de masa, suprimiéndose así la fase X normal. El estudio normal de estrella Wolf-Rayet, es decir una estrella brillante acompañada de una estrella de helio, es seguida poco tiempo después por otro sistema de Wolf-Rayet, compuesto de dos estrellas de helio, y a continuación seguirá una tercera fase Wolf-Rayet: una estrella de helio acompañada de una estrella de neutrones, por consiguiente, una Wolf-Rayet «en fuga». Puede ocurrir incluso que después de la explosión de supernova, se rompa el sistema y se produzca de este modo, a partir de un sistema binario, una Wolf-Rayet ¡aislada! Un ejemplo de los dos tipos de evolución, una completa en la que están representadas todas las fases (sistema con una primaria de 40 masas solares y una secundaria de 30 masas solares) y otra de evolución abreviada, incompleta (primaria de 40 masas solares y secundaria de 38 masas solares) se puede observar en la figura 7.

### Al final una estrella de neutrones o un agujero negro

Los cálculos de la evolución de las estrellas dobles muestran que el producto final de la evolución está determinado por la masa inicial de la primaria. Si la masa de la primaria es inferior a unas 12 ó 15 masas solares, esta primaria acabará su vida como una enana blanca. Se conocen muchos ejemplos de estas enanas blancas. La compañera de la estrella brillante Sirio es una enana blanca, con una masa comparable a la del Sol, pero cuyo radio es cien veces más pequeño; su densidad es un millón de veces más grande que la del Sol; un centímetro cúbico de materia de una enana blanca representa la masa de ¡una tonelada!

Cuando la masa de la primaria es superior a esta masa límite de 15 masas solares el resultado de la evolución es completamente diferente. Ya en el curso de la década de los treinta, se había observado que las partes centrales de las estrellas masivas debían evolucionar hacia estadios cada vez más condensados, que conducían a la formación de un núcleo muy denso, constituido totalmente por neutrones. Landau, un físico ruso, demostró en 1932, que un núcleo semejante, a consecuencia de los efectos relativistas, colapsaría de forma catastrófica cuando su masa sobrepasase un valor crítico que se estima actualmente en 3 masas solares. El americano Oppenheimer y sus colaboradores demostraron en 1938 que tal colapso conduce a una singularidad del espacio-tiempo, es decir a una concentración de la masa en un punto infinitamente pequeño, formando así un agujero negro (V. *La Recherche*, nº 112, junio 1980, p. 694). En efecto, no se conoce ningún fenómeno, ninguna fuerza física que pudiera parar este colapso. Las estrellas de masa superior a 15 masas solares, que constituyen la componente primaria en sistemas binarios evolucionan hacia una situación semejante. Estas estrellas acaban, pues, su vida como estrellas de neutrones. Las estrellas más masivas van más allá y, por colapso, se convierten en agujeros negros.

Hasta 1967, todas estas elucubraciones no eran sino pura teoría, y nada permitía entrever que llegaría un día en que estas hipótesis podrían demostrarse por medio de observaciones. En 1967 se descubrió el primer pulsar. Actualmente se conocen centenares. Al menos tres de estos pulsares se encuentran en pleno centro de restos de supernovas. El pulsar mejor conocido es el de la nebulosa del Cangrejo, en la constelación de Tauro. Esta nebulosa es el resto de una estrella que explotó en el año 1054 (en esa época se la veía incluso en pleno día), por tanto es el resto de una supernova. En el centro de esta nebulosa se encuentra el más rápido de todos los pulsares conocidos, el pulsar se activa y desactiva treinta veces por segundo, y emite una energía que es veinte mil veces mayor que la del Sol. El único mode-

lo que puede dar una explicación de una estrella que se activa y desactiva a semejante ritmo es el de una estrella que gira a una velocidad vertiginosa en torno a su eje. La emisión de los pulsares está ligada a la existencia de un campo magnético que se estima tiene una intensidad un billón de veces superior a la del campo magnético terrestre.

La velocidad necesaria para escaparse de la superficie de una estrella de neutrones es aproximadamente la mitad de la velocidad de la luz. Para un objeto de la misma masa pero cuyo radio fuese cuatro veces más pequeño, la velocidad de escape sobrepasa la de la luz, y un objeto así es un agujero negro. El descubrimiento de los pulsares ha hecho mucho más aceptable la posibilidad de la existencia de los agujeros negros. Los cálculos evolutivos muestran que para las estrellas masivas, el núcleo de neutrones sobrepasa el valor límite de 3 masas solares, y estas estrellas deben pues colapsar y acabar su vida como agujeros negros.

Es preciso, por consiguiente, partir de estrellas masivas para crear agujeros negros. Estas estrellas tienen una breve vida de unos cuantos millones de años (V. fig. 8). En la galaxia se conocen estrellas de masa considerable, tanto aisladas como en sistemas dobles, y muchas otras deben haber acabado ya su vida. En consecuencia, entre las estrellas de la galaxia deben errar muchos agujeros negros. A primera vista podría parecer que es imposible demostrar por observación la existencia de agujeros negros, puesto que un agujero negro por sí mismo es incapaz de emitir radiación. Sin embargo, la atracción gravitatoria de tales objetos es extraordinariamente grande y, cuando existe gas en los alrededores, este gas es atraído y acelerado a velocidades considerables. En un momento dado casi se alcanza la velocidad de la luz. Pero, con anterioridad, las velocidades de los átomos son ya enormes, las colisiones calientan el gas, y se alcanza una temperatura de un centenar de millones de grados antes de que el gas desaparezca en el agujero negro. Un gas a tal temperatura emite radiación X. Estas condiciones fueron presentadas por el físico ruso Zeldovitch y por el americano Salpeter ya en 1964. Las predicciones de ambos investigadores se han confirmado completamente desde 1971 gracias al descubrimiento de decenas de binarias que emiten rayos X. Hoy en día se conocen alrededor de un millar de fuentes de rayos X que contienen probablemente un objeto compacto (estrella de neutrones o agujero negro), gracias a los descubrimientos efectuados por satélites equipados con detectores de rayos X. La primera de estas fuentes fue descubierta por ca-

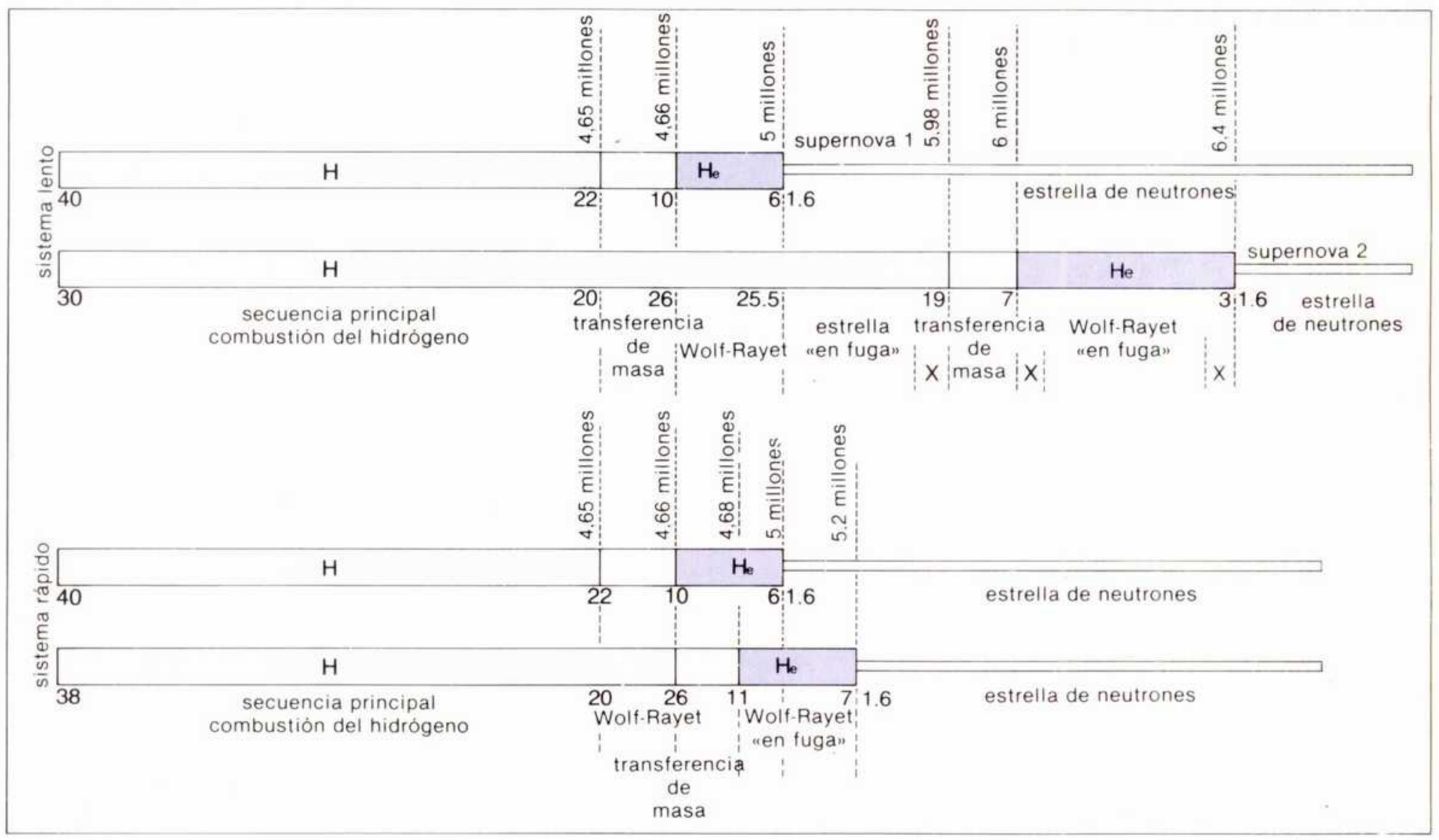



Figura 7. **La parte superior de la figura esquematiza la evolución de un sistema doble compuesto por dos estrellas de masas muy diferentes (sistema lento) y la parte inferior, la evolución de una binaria compuesta por estrellas de masa comparable (sistema rápido). A lo largo de las secuencias se ha indicado (por encima) el tiempo de millones de años, las fases de combustión del hidrógeno (H) y del helio (He), y por debajo de las secuencias las masas (en masas solares) y las diferentes fases. Puede observarse que el sistema compuesto por estrellas de 40 y 30 masas solares pasa por las siguientes fases: combustión de hidrógeno con pérdida de materia por viento estelar, que reduce las estrellas a 22 y 20 masas solares respectivamente, después fase de transferencia de materia, que deja un residuo para la primaria de 10 masas solares y que aumenta la masa de la secundaria hasta 26 masas solares, abandonando el sistema el resto. En este momento la binaria es una estrella de Wolf-Rayet, compuesta por una estrella luminosa y una estrella de helio. Las dos componentes pierden materia por viento estelar. La estrella de helio continúa su evolución y explota, y se convierte en una estrella de neutrones. A causa de esta explosión, el sistema adquiere una gran velocidad, abandona el plano galáctico y recibe el nombre de estrella «en fuga» *(run-away).* La estrella luminosa se agranda; en el momento en que se aproxima a su volumen crítico, la pérdida de masa es suficiente para que se emita radiación X, debido a la elevada temperatura causada por las enormes velocidades de las partículas, que son atraídas por la estrella de neutrones. Algunas decenas de millares de años más tarde, la estrella alcanza su volumen crítico y cesa la radiación X. Al final de la fase de transferencia de materia, el sistema está compuesto por una estrella de helio puro, acompañada por una estrella de neutrones; esto representa una nueva fase de Wolf-Rayet. Tales sistemas se encuentran lejos del plano galáctico y son también estrellas «en fuga» *(run-away).* La estrella de helio evoluciona a su vez hacia su fin: una nueva explosión tiene lugar y el sistema se rompe en dos estrellas de neutrones, que se separan cada vez más. Ahora podemos seguir fácilmente el esquema que representa la evolución del sistema rápido, así llamado porque la duración de su vida es mucho más corta. Hay que señalar que ciertos estadios, presentes en el caso anterior, no se producen en éste.**

**Un punto esencial en el estudio de las fuentes X es la determinación de las masas de las componentes del sistema final.**

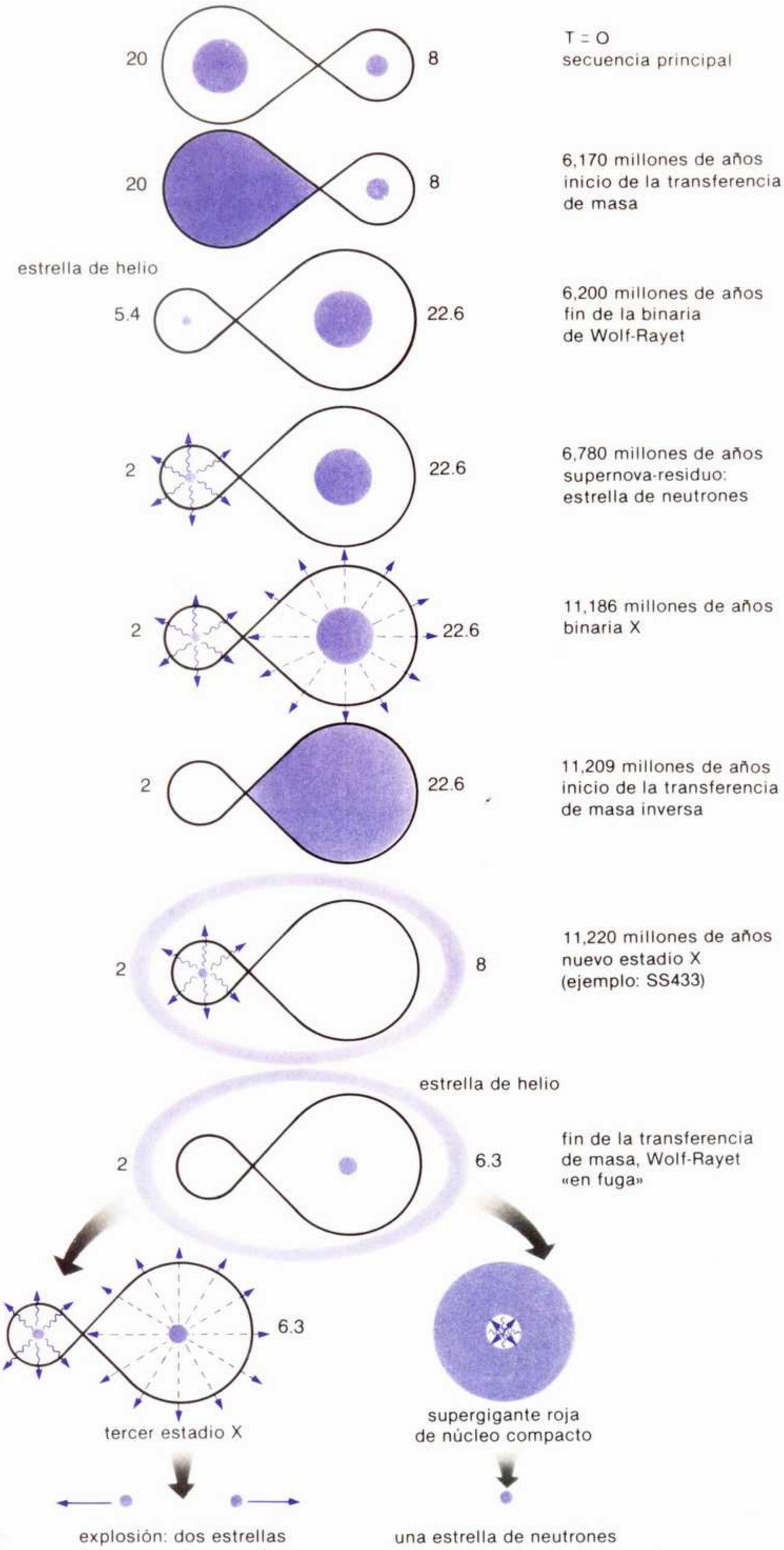



Figura 8. **Hemos representado aqui las diferentes fases de la evolución de una binaria clásica, constituida inicialmente por dos componentes de 20 y 8 masas solares. La curva que rodea las dos estrellas representa el equipotencial crítico (superficie de Roche). Las dos componentes con su masa se representan siempre al mismo lado de la figura. La emisión X se simboliza mediante flechas ondulantes y el viento estelar mediante flechas de trazo discontinuo. Después del estadio Wolf-Rayet «en fuga», pueden producirse dos fenómenos: bien ambas estrellas permanecen separadas y se inicia un nuevo estadio de emisión X, que termina con la explosión de la componente de 6,3 masas solares (subsisten entonces dos estrellas de neutrones separadas); bien ambas estrellas se fusionan, y se obtiene una supergigante roja, que terminará por estallar dando lugar a una sola estrella de neutrones.**

sualidad por un cohete que habia sido lanzado para medir una radiación X que posiblemente procedía de la Luna. La precisión en la dirección de la trayectoria del cohete no fue precisamente un éxito, pero ¡allí estaba el resultado! Más tarde, se consiguió identificar la fuente, que se denominó Scorpius X-1, con una débil estrella azul.

A finales de 1970, se lanzó el satélite Uhuru (un satélite americano de la serie SAS «Small Astronomical Satellite»), que extendió el número de fuentes X hasta unas trescientas. Otros satélites como los OSO-7, SAS-3, Ariel 5, ANS, OSO-8, HEAO A y B han contribuido de forma considerable a nuestro conocimiento del dominio de la astronomía X. También se han identificado visualmente una docena de binarias X masivas, de las que se conoce exactamente su posición, magnitud y tipo espectral. Además, para la mitad de ellas, se conoce el período de revolución y el de la pulsación X de la componente compacta. Ciertos sistemas emiten en efecto pulsaciones regulares en X, similares a las de los pulsares en radio. Un detallado examen de estos sistemas ha revelado que se transfiere materia desde la estrella normal hacia la componente que emite la radiación X. Estas estrellas emisoras de rayos X son estrellas de neutrones que recogen gas de su compañera. La fuente X Cygnus X-1 es un caso excepcional: la fuente no emite pulsaciones, y la masa del objeto compacto parece sobrepasar el límite de 3 masas solares. Muchos astrónomos piensan que esta binaria X podría estar compuesta por una estrella normal y ¡un agujero negro!

El descubrimiento de binarias X ha abierto un nuevo campo de investigación en astrofísica, y ha demostrado la existencia de objetos compactos, estrellas de neutrones e incluso agujeros negros. Las observaciones muestran que la mayor parte de los sistemas dobles masivos compactos sobreviven a una primera explosión de supernova, que transforma la componente más masiva y más evolucionada en un objeto compacto, pero que generalmente estos sistemas se disocian después de la segunda explosión. En algunos casos excepcionales, el sistema permanece ligado después de esta segunda explosión y, de esta forma, se originan los pulsares radio-binarios. Actualmente, se conocen tres ejemplos: uno de ellos es PSR 1913 + 16, un pulsar binario compuesto por dos estrellas de neutrones, con un período orbital de 7 h 75; el período de pulsación es de seis centésimas de segundo. Cabe destacar el hecho de que la enorme energía emitida bajo la forma de rayos X ($4 \times 10^{30}$ W $s^{-1}$) sea producida de una forma muy simple, tan sólo

por el gran calentamiento de la materia acelerada en un campo gravitatorio muy intenso.

Un punto esencial en el estudio de las fuentes X es la determinación de las masas de las componentes del sistema final. Esto ha sido llevado a cabo en 1975 mediante la colaboración entre la Universidad de Amsterdam y nuestro Instituto por la combinación de los datos en el dominio X y un centenar de espectros tomados en el Observatorio Europeo Austral (E.S.O.) en Chile, durante varios años. La fuente X en cuestión era Vela X-1; la masa de la estrella brillante fue estimada en 21,2 masas solares y la de la estrella de neutrones en 1,61 masas solares. Era la primera vez que se determinaba la masa de una estrella de neutrones. Gracias a estos datos y a la elaboración de programas para ordenador destinados a calcular la evolución de sistemas dobles, se ha conseguido reconstruir la historia del sistema Vela X-1, a partir de dos estrellas masivas. Sabemos por ello que la edad de este sistema es de once millones de años y podemos también hacer predicciones sobre su suerte final, dentro de unos cien mil años.

El escenario teórico que acabamos de describir para la evolución de las estrellas dobles masivas ha sido pues confirmado por la existencia de sistemas que coinciden con fases bien caracterizadas de la evolución: sistemas no evolucionados de estrellas masivas y brillantes, sistemas de Wolf-Rayet, binarias X, estrellas de Wolf-Rayet «en fuga», binarias X en un estadio más avanzado, y finalmente el pulsar binario PSR 1913 + 16.

Durante los últimos veinticinco años la Astronomía ha dado un paso de gigante con una avalancha de descubrimientos imprevistos y de desarrollos teóricos avanzados. El descubrimiento de objetos compactos, los pulsares y las fuentes X, ha profundizado notablemente nuestras nociones sobre las últimas fases de la evolución de las estrellas y, sobre todo, de la evolución de las estrellas dobles. ■

## Para más información:


■ P.S. Conti, «Mass los in early type stars», *Annual rev. astrom. astrophys.*, 16, 371, 1978.

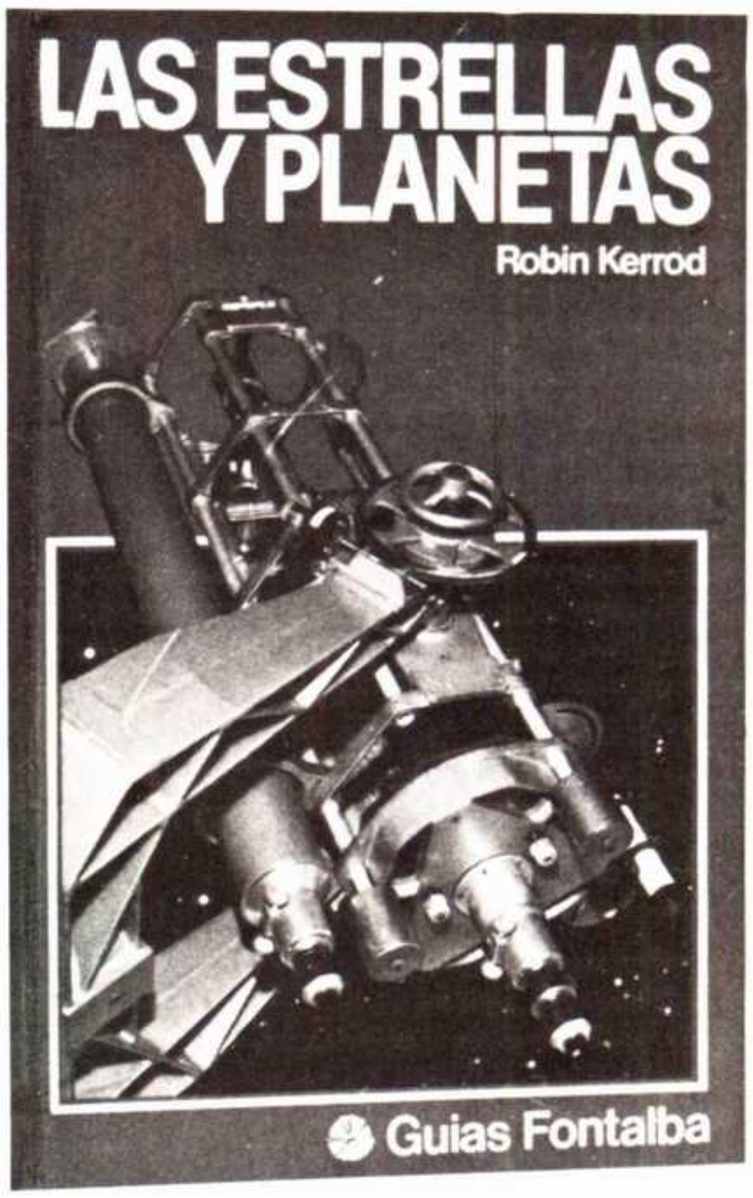
■ C. de Loore, «Évolution stellaire», *Annales de physique*, en prensa.

■ «Structure and evolution of binary systems», IAU symposium n.º 73, editado por P. Eggleton, S. Mitton, y J. Whelan, Reidel, 1976.



# LAS ESTRELLAS Y PLANETAS

**Robin Kerrod**




El libro que presentamos al lector es un compendio rigurosamente científico y documentado del estado actual de los conocimientos astronómicos y astrofísicos. Las modernas hipótesis sobre el origen y evolución del Universo, el estudio de las estrellas, las nebulosas y las galaxias, así como un examen detallado de nuestro Sistema Solar, completan la temática de esta guía, escrita con un lenguaje sencillo y acompañada de esquemas y diagramas que sirven de contrapunto para su mejor comprensión.

Formato: 13,5 × 20 cm
Páginas: 128 en cartoné
Fotografías e ilustraciones a todo color

**P.V.P.: 650 pts.**

**Pídalo a su librero o contrarreembolso a:**

**Editorial Fontalba, s.a.**
**Valencia, 359 - 6.º 1.ª**
**Barcelona-9 (España)**

**El «idioma» de los genes es universal.
Sin embargo, no todos los seres vivos lo utilizan de la misma forma.**

# Código genético y evolución de las especies

■ Los seres vivientes (plantas, animales, bacterias,...) que pueblan en la actualidad la tierra proceden de una larga evolución de las especies que se ha desarrollado, a partir del origen de la vida, durante más de tres mil millones de años. La anatomía, la fisiología, la biología celular, la paleontología han sido hasta los años sesenta los únicos medios de averiguar el parentesco entre las especies. En función de éste, los biólogos pueden construir árboles genealógicos que muestran la verdadera forma en la que las especies fueron engendradas a partir unas de otras durante el transcurso de la evolución. Sin embargo, la teoría de la evolución más comúnmente admitida desde los años treinta, es decir la teoría neodarwinista, postula que los cambios, morfológicos, fisiológicos..., visibles en la evolución de las especies son de hecho el resultado de cambios acaecidos al nivel de los genes que componen su patrimonio hereditario. Desde finales de los años cincuenta, el desarrollo de las técnicas bioquímicas ha permitido establecer la estructura primaria de las proteínas, es decir, el encadenamiento (o secuencia) de los aminoácidos que las componen. Los biólogos pudieron, entonces, reexaminar la teoría de la evolución. En efecto, las proteínas son, en las células, moléculas «codificadas» por los genes, es decir, su secuencia está determinada por los genes. Estos análisis de la evolución molecular han conducido a realzar la importancia otorgada a ciertos mecanismos evolutivos. De este modo Susumu Ohno y otros autores han puesto de manifiesto el papel importante y fundamental jugado por la duplicación de los genes (véase *La Recherche*, n.º 107, p. 4 enero 1980).

Sin embargo en la actualidad, las técnicas bioquímicas han abierto un campo de posibilidades mucho mayor. Un gen es una molécula de DNA formada por el encadenamiento de nucleótidos (existen cuatro nucleótidos distintos: nucleótidos de adenina, de citosina, de guanina y de timidina (abreviadamente y de forma respectiva: A, C, G y T). Esta secuencia lineal constituye la estructura primaria del gen. Desde 1975 se sabe averiguar este tipo de secuencias; aportación técnica que ha valido a sus autores, W. Gilbert por un lado y a F. Sanger, por otro, el premio Nobel de Química de 1980. De este modo conocemos, en el momento de escribir este artículo,[1] la estructura primaria de 131 genes pertenecientes a todo tipo de especies: erizo, levadura, pollo, ratón, buey, hombre, virus, bacterias... La cuestión evidente que debe plantearse entonces es la de comparar estos genes entre sí, identificar sus semejanzas y sus diferencias e intentar a partir de ellas deducir consecuencias con respecto a la evolución de las especies. Este tipo de estudios se vienen realizando desde hace algunos años por parte del equipo de Evolución Molecular del laboratorio de Biometría de la Universidad Claude Bernard en Lyon. A pesar de que el número de genes examinados es todavía relativamente escaso, permiten ya poner en cuestión ciertos mecanismos evolutivos, especialmente por lo que respecta a la función de los codones sinónimos.

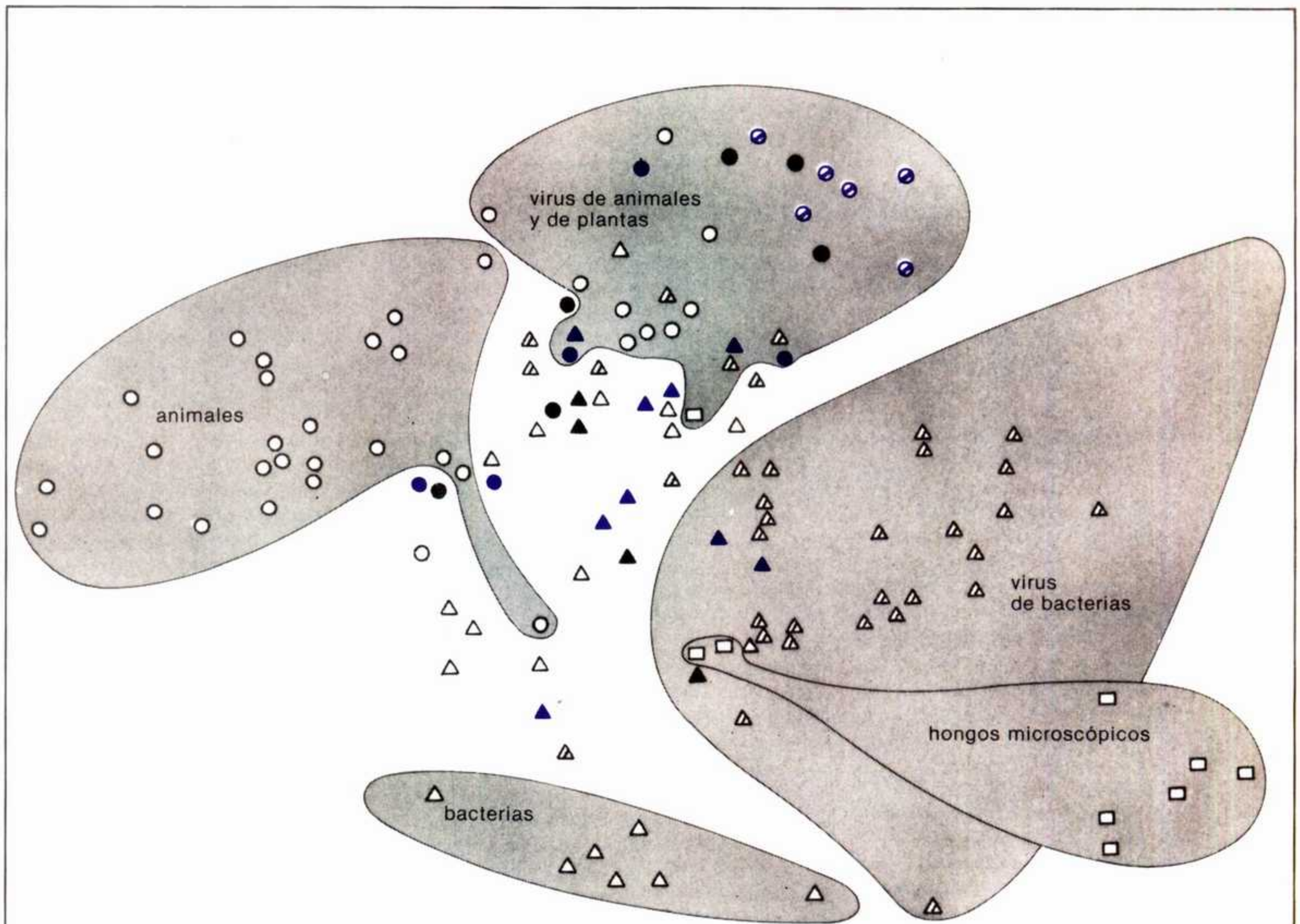
## Los sinónimos en el «idioma de los genes»

Entre los genes analizados muy pocos codifican para la misma proteína en distintas especies, por lo cual era preciso desarrollar métodos de comparación de genes no «homólogos». Se sabe que la información hereditaria se registra en los genes merced a un código genético universal para todos los seres vivientes (con una pequeña excepción para el caso de ciertas mitocondrias). El encadenamiento de los nucleótidos en un gen dicta, en efecto, la secuencia de los aminoácidos en la proteína sintetizada por la célula bajo la dirección del gen. Para ello existe una tabla de equivalencias que define las correspondencias nucleótidos-aminoácidos, que constituyen precisamente el código genético.[2] Exactamente son grupos de tres nucleótidos sucesivos los que se corresponden con un aminoácido en el transcurso de la traducción del mensaje genético en la proteína. Un grupo de tres nucleótidos es lo que se llama un codón; existen 20 aminoácidos que forman parte de las proteínas y 61 codones en el repertorio del «idioma de los nucleótidos». Lo que significa que hay, por término medio, tres codones equivalentes (sinónimos) por aminoácido. A partir de esto es posible intentar comparar las secuencias de nucleótidos de los genes. Algunas técnicas de análisis de los datos (véase *La Recherche*, n.º 74, p. 15, ener 1977) han proporcionado, en base a la frecuencias de cada uno de los 61 codo nes, una clasificación de los genes; es to ha permitido distribuirlos sobre una gráfica, lo que revela (datos no presen tados aquí) que la proximidad o el dis tanciamiento entre los genes reflejan la elección preferencial entre codones si nónimos. Una primera constatación fundamental emerge de este trabajo comparativo: en el seno de un mismo or ganismo todos los genes conocidos —que de momento no representan más que una ínfima parte de su patrimonio genético— manifiestan la misma prefe rencia para algunos codones sinóni mos. Por ejemplo, los doce genes de ra tón cuya secuencia nos es conocida manifiestan la misma preferencia por los codones que terminan por una gua nina G o por una citosina C. Una segun da constatación fundamental consiste en que, a partir de estas preferencias los genes pertenecientes a especies distintas de seres vivientes pueden rea gruparse en cinco categorías (fig. 1). Los genes de los animales (erizo, pollo ratón, rata, conejo, buey, hombre) cons tituyen una clase homogénea. Otra cla se homogénea es la formada por los ge nes que los hongos unicelulares (leva dura, la amiba social *Dyctiostelium dis coideum*). Las otras clases más o me nos homogéneas son la de las bacte rias, la de los virus parásitos de éstas (bacteriófagos) y la de los virus pará tos de animales y plantas. Las clases representan pues distintos tipos de pa trimonio genético, o «tipos de genoma» que pueden distinguirse entre sí por sus elecciones preferenciales de codones.

## Las razones de una elección

La cuestión planteada reside en sa ber por qué las elecciones diferenciales de codones han sido tomadas de forma distinta en las diversas líneas evoluti vas. Para ello pueden vislumbrarse dife rentes hipótesis. Se puede imaginar que la disponibilidad de nucleótidos libres en el citoplasma de una célula ejerce un cierto tipo de restricción sobre el proce so de copia del DNA. Estas copias tie nen lugar en el transcurso de la trans cripción (traducción del DNA en RNA) que produce los mensajes que permiten la síntesis de las proteínas, y de la repli cación, momento en el que se constru ye, a partir del DNA de una célula ma dre, el DNA de las células «hijas». Estas copias se realizan a partir de nucleóti dos libres. En el transcurso de la evolu ción, algunos seres vivientes pueden haber sido conducidos a armonizar su elección de codones con el metabolis mo celular de los nucleótidos. Otras hi-

(1) Nuestro banco de secuencias de ácidos nucleicos ACNUC contiene actualmente más de 200 secuencias de genes codificantes de proteínas.




organismos

- △ procariotas (bacterias)
- ▭ eucariotas unicelulares (hongos microscópicos)
- ○ eucariotas pluricelulares (animales)

virus

virus de procariotas (bacterias)

- ▲ virus con DNA de filamento sencillo
- ▲ virus con DNA de doble filamento
- ▲ virus con RNA

virus de eucariotas (animales, plantas, células nucleadas)

- ● virus con DNA de doble filamento (virus de la hepatitis B) → parásitos de animales
- ⊘ virus cancerígeno SV 40 → parásitos de animales
- ● virus con RNA → parásitos de vegetales

**Este gráfico muestra la repartición de 131 genes pertenecientes a seres vivos muy distintos. Este reparto viene dado por el análisis de las correspondencias entre las frecuencias de los 61 codones en cada uno de estos genes (los codones son las «palabras» del idioma de los genes que corresponden a los aminoácidos que se encuentran en las proteinas). Los genes situados a la izquierda del gráfico almacenan información eligiendo de forma preferente aquellos codones finalizados por un nucleótido de guanina G o de citosina C entre los codones sinónimos del repertorio de codones; los genes situados a la derecha, lo hacen en base a una preferencia por codones terminados por nucleótidos de uracilo U o de adenina A. Por tanto, es posible separar los seres vivos según el tipo de patrimonio genético caracterizado por su elección de codones. Un análisis complementario mediante clasificación automática (método de R. Fagès), que se basa en la minimización de la dispersión en cada clase, ha proporcionado los contornos de las cinco clases que se indican en el gráfico. Estas clases, cuya determinación sólo depende de la frecuencia de los codones, se revelan muy homogéneas por lo que respecta al tipo genómico. Cabe observar, además, la separación entre dos tipos de genes bacterianos (véase texto). Los genes «altamente expresados», que corresponden a proteinas muy frecuentes en la célula, constituyen con gran precisión la clase situada en la parte inferior del gráfico.**

**La genética molecular confirma que la selección actúa sobre el individuo en su conjunto y no sobre genes individuales.**

pótesis hacen hincapié en las restricciones propias a la traducción del mensaje magnético; así por ejemplo, la elección preferencial de los codones podría ser el resultado de la armonización entre la composición en codones de los mensajeros genéticos y la panoplia de instrumentos de los que dispone la célula para traducir estos mensajes (en particular las frecuencias de los distintos RNA de transferencia encargados de posicionar, frente a cada codón, el aminoácido que le corresponde según el código genético). Por lo menos en el caso de las bacterias, parece bastante probable —incluso a pesar de que los argumentos son todavía indirectos— que la elección de los codones en el seno del patrimonio genético está ligada a las capacidades de traducción del mensaje genético. Así de los diecinueve genes bacterianos disponibles, siete son genes cuyo mensaje es traducido en abundancia, y, además, estos genes determinan la presencia en la célula de grandes cantidades de la proteína correspondiente (en este caso proteínas ribosómicas y de membrana). Estos siete genes «altamente expresados» difieren de los otros doce conocidos de esta bacteria por una elección preferencial de codones en el seno del tipo de genoma propio de las bacterias (estos genes altamente expresados figuran en la clase delimitada abajo y en el centro del gráfico).[2,3]

De esta forma, las observaciones realizadas hasta el momento sobre las secuencias ya publicadas llevan a constatar que la redundancia en el repertorio de los codones parece explotada por lo menos a dos niveles: el establecimiento de una estrategia de codificación (elección de codones), coherente según el tipo de genoma conducente a ramas diversas de la evolución de las especies, y la distinción, en el interior de un mismo tipo de genoma, entre los genes altamente expresados y los demás.

### Los genes no son egoistas

¿Qué relaciones tienen estas categorías con las ramas del árbol de la evolución de las especies? La cuestión es interesante pues disponemos de pocos medios para estimar las relaciones evolutivas en los virus y en las bacterias. La constatación más clara es la diferencia nítida que existe entre las estrategias de codificación en los virus, por una parte, y en los huéspedes que ellos parasitan por otra. Esta diferencia es, a *priori*, sorprendente: los dos tipos de genes «trabajan» en el mismo ambiente celular. Sin duda alguna es demasiado pronto todavía para saber si ello refleja una adaptación particular de los genes víricos a su vida parasitaria, o si más bien hay que ver en ello un indice del origen filogenético de los virus. Sin embargo, actualmente, están en curso comparaciones entre genes víricos y diversas partes traducidas o no traducidas (no correspondientes a una proteína) de los genomas. Comparaciones que han de servir para basar hipótesis referentes al origen filogenético de los virus y de ciertos orgánulos.[4]

Del conjunto de las comparaciones acerca de los tipos de genomas es posible sacar, también, la conclusión siguiente: en la medida en que la misma elección de codones es efectuada por todos los genes de un organismo, es evidente que la evolución de los genes individuales en el seno de un patrimonio genético no se hace de forma independiente a otras influencias de este patrimonio. Durante estos últimos años, hemos asistido al florecimiento de nuevas teorías de la evolución, sostenidas principalmente por los partidarios de la sociobiología, según las cuales los genes evolucionan de forma independiente, hasta el punto que autores como R. Dawkins hablan de «genes egoístas».[5] Este nuevo enfoque ha sido duramente criticado por los partidarios de las teorías más clásicas de la evolución, para quienes no son los genes individuales los que son seleccionados por las restricciones del medio sino más bien todo el individuo en su conjunto (y por tanto el conjunto de su patrimonio genético). La observación de «tipos de genoma» sostendría pues este enfoque más clásico, ya que los genes de un genoma no parecen ser independientes. Esta selección del individuo en su conjunto parece particularmente clara en el caso de las bacterias. ¿Cómo interpretar sino la elección de una estrategia de codificación particular —sin duda menos eficaz por lo que respecta a la traducción— por parte de los genes bacterianos correspondientes a proteínas poco abundantes en la célula? Parece, pues, que nos encontramos frente a un proceso de armonización global del genoma en beneficio de la célula (y por tanto del organismo). Finalmente, se puede señalar que esta selección sobre el genoma no se ha llevado a cabo mediante una selección de las proteínas codificadas. Ello se demuestra mediante un análisis de las correspondencias entre las frecuencias de los aminoácidos de estas proteínas. En efecto, según este nuevo reagrupamiento de los genes que resultaría de este tipo de comparación el reagrupamiento observado en el gráfico 1, ligado a la filogenia, ya no aparece.[3,6]

*Richard Grantham, Christian Gautier, Manolo Gouy y Monique Jacobzone.*


GG

Colección Tecnología y Sociedad

**Algunos de los títulos publicados en esta colección:**

Michel Bosquet (André Gorz)
**Ecología y Libertad**

William H. Davenport
**Una sola cultura**
**La formación de tecnólogos-humanistas**

Duncan Davies/ Tom Banfield/Ray Sheahan
**El técnico en la sociedad**

Siegfried Giedion
**La mecanización toma el mando**

M. Kranzberg/ W.H. Davenport (eds.)
**Tecnología y Cultura**

David Morris/Karl Hess
**El poder del vecindario. El nuevo localismo**

Arnold Pacey
**El laberinto del ingenio**

Langdon Winner
**Tecnología autónoma**

**Editorial Gustavo Gili, S.A.**



(2) R. Grantham, «Workings of the genetic code» *TIBS, 5,* 327, 1980.
(3) R. Grantham. C. Gautier, M. Mouy, M. Jacobzone y R. Mercier. *Nucleic Acids, Res., 9,* 43, 1981.
(4) R. Grantham, «Nucleic acid sequence similarities: Poly (A) tendency» *F.E.B.S. Lett, 121,* 193, 1980.
(5) R. Dawkins, «The selfish gene», Oxford University Press, 1976 (hay traducción castellana «El gen egoísta», Ed. Labor, Barcelona, 1979).
(6) R. Grantham. C. Gautier y M. Gouy. «Codon frequencies in 119 individual genes confirm consistent choices of degenerate bases according to genome type», Nucleic Acids Res. 8, 1893, 1980.

# ¿Es tóxica la ternera con hormonas?

■ Desde hace algunos años, se lleva a cabo en Europa un debate muy controvertido sobre la utilización de hormonas en la producción animal. Este enfrentamiento entre las distintas profesiones implicadas en la crianza industrial de ternera y las organizaciones de los consumidores se basa esencialmente en los potenciales riesgos para la salud, a los que se expone el consumidor de carne «con hormonas». ¿Pero de qué hormonas se trata?, y ¿con qué finalidad son utilizadas? Hay que reconocer que el poco entusiasmo del que han hecho gala los científicos para definirse claramente sobre el problema no ha contribuido en absoluto a desdramatizar esta agria polémica sobre la crianza industrial de ternera. Así, y a modo de preámbulo, no estará de más recordar brevemente los hechos.

## Los orígenes de la crisis de la ternera

El consumo anual de carne de ternera oscila en Francia entre 35 000 y 38 000 t, es decir, tres millones y medio de animales sacrificados. Desde hace unos quince años, la crianza de ternera para carne se ha transformado totalmente, al haber pasado de una actividad semiartesanal a otra de carácter eminentemente industrial. Durante los tres meses de engorde, la ternera joven sufre una multitud de situaciones de stress (confinamiento, oscuridad, alimentación artificial...) que disminuyen de forma considerable sus defensas naturales y la hacen un terreno adecuado para los ataques microbianos, víricos y parasitarios (V. *Mundo Científico*, n.º 3, p. 244, 1981). Por esto, nada tiene de extraño que, para sobrevivir, esta ternera debilitada deba ser cebada con antibióticos, antiparasitarios, tranquilizantes y, sobre todo, anabolizantes, sustancias que estimulan la velocidad de crecimiento y de engorde. El ganadero puede así obtener un aumento de peso del esqueleto del orden del 10 %, y una disminución del tiempo de crianza de diez días, o sea, un beneficio del orden de unas 1 800 pts. por ternera.(1) En este contexto, el uso de todos estos productos, lejos de ser una práctica marginal, es de absoluta necesidad para conseguir de forma normal una producción rentable. La prohibición del uso de toda sustancia anabolizante de acción estrogénica (es decir, los anabolizantes más eficaces) decretada en Francia por las autoridades (ley n.º 76-1067, 26 noviembre 1976, llamada ley Ceyrac, conduciría por fuerza, si se aplicara realmente, a un replanteamiento completo de la producción industrial de la ternera. Esta ley, promulgada como medida de protección de la salud de los consumidores, nunca ha sido efectiva en la práctica. La ternera industrial continuó siendo dopada a base de anabolizantes estrogénicos con la mayor impunidad. De ahí la creciente indignación de los consumidores. La degradación constante de la calidad de la carne de ternera y la incertidumbre en cuanto a sus repercusiones reales en la salud, provocaron el 10 de septiembre de 1980 el comienzo de una campaña de boicot, promovida por la Unión Federal de los Consumidores (UFC: *Que choisir*)(2) Esta campaña, asumida también por la Oficina Europea de Uniones de Consumidores (BEUC), que engloba diecinueve asociaciones, ha conducido a un fuerte descenso de la venta de ternera en toda la comunidad europea. Para justificar las prácticas prohibidas por la ley, algunos no han dudado en contraponer hormonas «buenas» naturales a las hormonas «malas», artificiales.(3) Esta distinción entre las categorías de sustancias hormonales de actividad anabolizante ¿corresponde realmente a una realidad científica?

## ¿Existen hormonas «buenas» y «malas»?

Los mejores resultados en la ternera, han sido obtenidos con hormonas sexuales de tipo estrogénico, cuya acción se potencia por medio de otras hormonas, progestágenos (progesterona) o andrógenos (por ejemplo, testosterona). Entre los estrógenos utilizados como anabolizantes en los animales de crianza, se encuentran productos de origen natural de estructura esteroidea (estradiol, estrona, etc.), muchos de los cuales actualmente son sintetizados en su totalidad. Una gran parte de los estrógenos de origen natural y estructura no esteroidea pertenece al reino vegetal (zearalanol), mientras el dietilestilbestrol (DES) es el estrógeno artificial no esteroideo más importante y de uso más común. Tanto si se trata de hormonas estrogénicas de estructura esteroidea como de compuestos no esteroideos, la actividad biológica es fundamentalmente la misma.(4) Estos productos tienen acusadas similitudes estructurales (por lo menos un grupo hidroxilo unido a un grupo aromático), indispensables para su actividad, y participan en su unión con el receptor de estrógenos a nivel de las células receptoras.(5) No es sorprendente que las llamadas hormonas naturales y artificiales, como el DES, tengan actividades farmacológicas y tóxicas muy parecidas. (V. fig. 1.)

## El DES: cancerígeno indiscutible para el hombre

El DES, cuya actividad estrogénica por vía oral es cinco veces superior a la del estradiol, ha sido utilizado en terapéutica humana para bloquear la lactancia, detener las dismenorreas, controlar la menopausia y tratar el cáncer de mama o de próstata. Pero, sin duda alguna, donde ha cosechado éxitos sucesivos, ha sido en el tratamiento para evitar abortos espontáneos.(6)

En 1971, estalló una verdadera bomba cuando Herbts,(7) un ginecólogo americano, puso de manifiesto la aparición de malformaciones del revestimiento vaginal en la casi totalidad de las hijas nacidas de madres tratadas con el DES durante su embarazo. Estas malformaciones pueden degenerar en algunos casos en una lesión cancerosa cuyo final es a menudo fatal: adenocarcinoma localizado en la vagina o en el cuello del útero. Este estudio, seguido de una encuesta epidemiológica en 1977, permitió por primera vez relacionar directamente un medicamento con la aparición del cáncer en el hombre. Esto no impidió la comercialización y venta de una píldora llamada «de la mañana siguiente» (píldora postcoito) a base de DES, que no fue retirada del mercado americano hasta 1977, después de una durísima lucha de la Food and Drug Administration.(8) Sin embargo, el DES continúa prescribiéndose en Francia con fines terapéuticos. Por otro lado, se ha demostrado que el DES provoca en la mujer, después de la menopausia, un aumento significativo del cáncer de endometrio (músculo del útero).(6) Estos resultados globales han sido confirmados experimentalmente en animales.(9)

## Serias dudas sobre los estrógenos naturales

Si actualmente existen suficientes pruebas del poder cancerígeno del estradiol en los animales,(10) por el contrario, estos resultados no son aún esta-

(1) P. Thivend, *L'élevage Bovin, 102*, 21, 1981.
(2) *Que choisir, 155*, 20 octubre 1980.
(3) J. Bizet, *Le Monde*, 23 septiembre 1980.
(4) E.-E. Baulieu, «Hormones: aspects fondamentaux et physiopathologiques», Herman, París, 1978.
(5) B. Busetta, C. Courseille, G. Precigoux y M. Hospital, *J. Steroid, Biochem., 8*, 63, 1977.
(6) K.E. McMartin y otros, *J. Environ Pathol. Toxicol., 1*, 279, 1978.
(7) A.L. Herbst, *J. Toxicol. Environ Health, suplemento 1*, 13, 1976.
(8) TIBS, 309, diciembre, 1980.
(9) N.P. Bishun y otros, *J. Surg. Oncol., 9*, 293, 1977.
(10) Sex Hormones (II). IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to human, vol. 21, Lyon, diciembre 1979.

## Se ha hablado de hormonas «buenas» y «malas»: ¿corresponde esta distinción a una realidad científica?

dísticamente significativos y están lejos de ser concluyentes para el hombre. Por ahora, el caso que ofrece dudas, parece ser el aumento del riesgo del cáncer de endometrio en las mujeres, grandes consumidoras de hormonas estrogénicas naturales.(11) Es probable que el consumo prolongado y excesivo de estrógenos con fines terapéuticos, como medio de contracepción, o simplemente como aporte alimentario, sea capaz de acelerar la evolución de un cáncer, aunque no se sabe exactamente cómo, ya sea por acción hormonal directa,(12) o bien después de transformaciones metabólicas del organismo.(13)

### Los defectos de los anabolizantes: una incertidumbre inquietante

A pesar de la opinión ampliamente extendida entre el público, no puede achacarse a la mayoría de anabolizantes —el DES constituye un caso aparte— la responsabilidad exclusiva de la retención de agua, que con tanta frecuencia constatan las amas de casa al cocinar la ternera. En realidad, sería mucho más acertado incriminar a otros factores (genética, alimentación, condiciones de transporte, de los mataderos...). Los anabolizantes tampoco parecen influir de forma notable en las cualidades organolépticas de la carne (gusto, suculenci olor, sabor, color...), en cambio, sí par ce que afectan a su textura.(1) El probl ma esencial para la salud de los cons midores reside, no obstante, en la pr sencia o ausencia de residuos biológ camente activos.(14) Sin embargo, los r sultados obtenidos por el laborator central de higiene alimentaria(15) d muestran que, en el caso de la implant ción con $\beta$ estradiol (20 mg de estradi + 140 mg de acetato de trembolone), l tasa de residuos en los tejidos (músc lo, hígado) no es, durante los dos mese de la experimentación, significativa mente distinta de los valores fisiológ cos (entre 0,01 y 0,2 ppb en los tejido de los bovinos jóvenes). Para el DES, l concentración residual en el hígado, po ejemplo, decae rápidamente: 3,4 pp después de 24 horas, 0,08 ppb despué de 240 horas. En los músculos de terne ras implantadas con 30 mg de DES, l tasa residual es de 4 ppb a los dos día y prácticamente nula a los ocho días.(1 Esta importante diferencia observad en las tasas de «residuos», después d la implantación con DES o con estra diol, se explica esencialmente por una diferencia en la velocidad de elimina ción de estos productos. Subsiste, no obstante, la gran incógnita de la trans formación exacta de estos productos en el organismo. ¿Existe una transfor mación (o metabolización) de la molécu la de partida en compuestos dotados de propiedades toxicológicas diferentes que, sin duda, escapan a los análisis clásicos? Los importantes residuos, ha llados en los tejidos de los animales tra tados con antibióticos, permiten esta blecer una comparación útil para avan zar en la comprensión de los efectos de los anabolizantes sobre el ganado vacuno. Así, la penicilina es transformada en el organismo en un metabolito, que se fija irreversiblemente a las proteínas ce lulares, formando compuestos que han perdido todo poder antibiótico, pero que son muy alérgenos.(16) Si el proceso de los anabolizantes fuera parecido, habría que tener en cuenta que la dosificación de los residuos permite únicamente un control de la carne destinada al consumo, pero de ninguna manera informa sobre los peligros reales para la salud. Es evidente que si no quiere escamotearse el verdadero debate debe situarse, entonces, a este nivel.

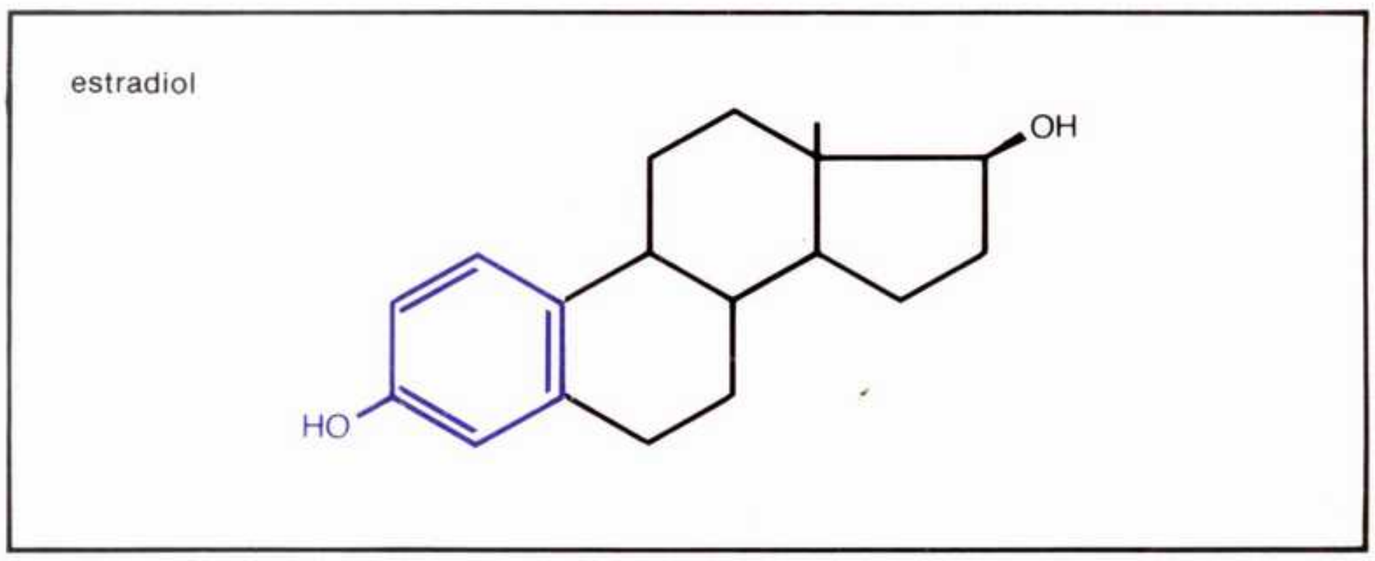
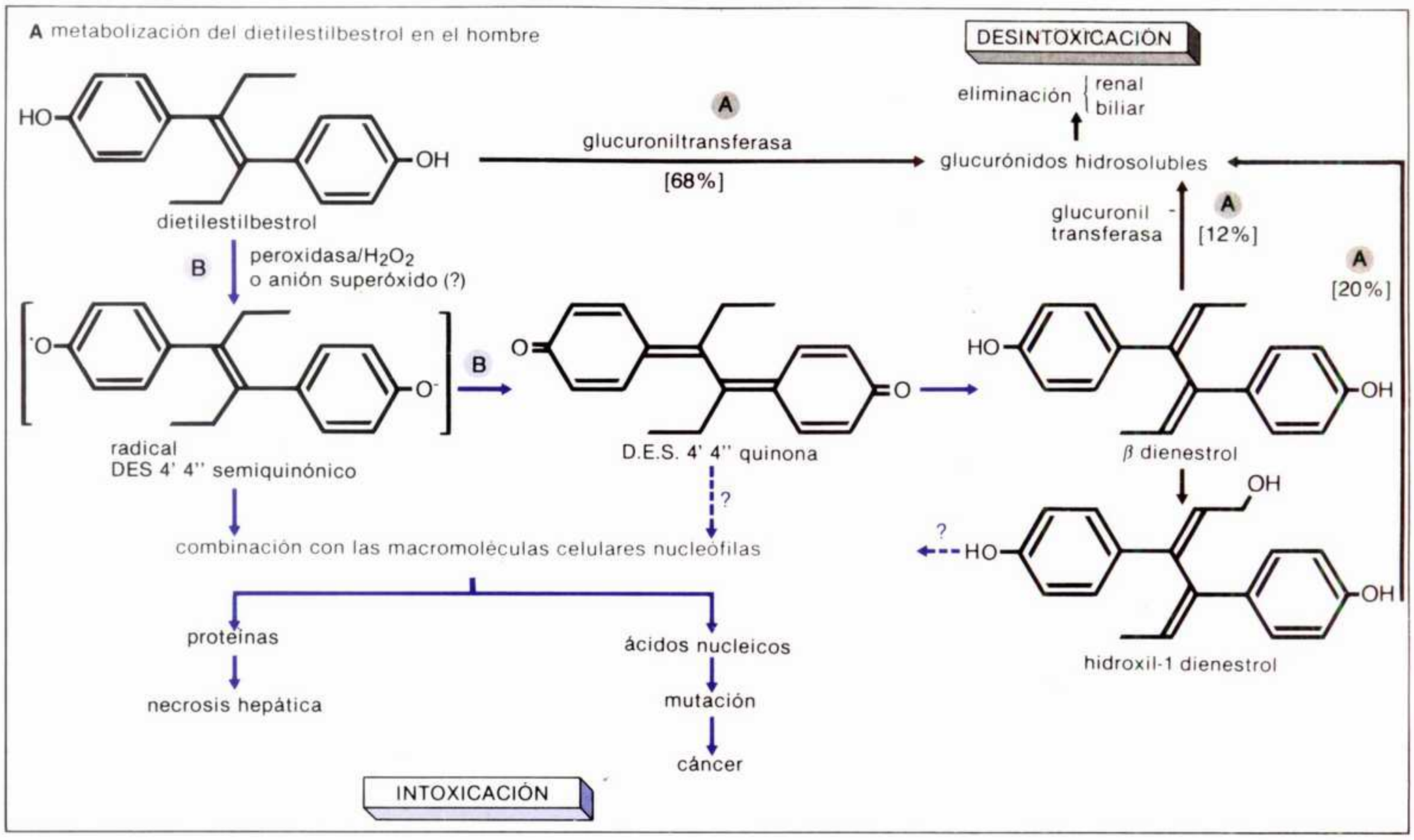



Figura 1. **Los anabolizantes de actividad estrogénica se clasifican en tres grandes categorías: estrógenos de origen natural y de estructura esteroidea, entre los que encontramos el $\beta$ estradiol y la estrona. Los estrógenos de origen natural de estructura no esteroidea, muchos de los cuales pertenecen al reino vegetal como el zearalanol, micotoxina producida por varias especies de fusarium (parásitos del maíz); los estrógenos artificiales, como el dietilestilbestrol (DES). Todos estos productos tienen estructuras parecidas. Como mínimo un grupo hidroxilo unido a un núcleo aromático (función fenol) es indispensable para su actividad y participa en la unión con el receptor de estrógenos a nivel de las células blanco.**

### Un criterio decisivo: la toxicidad a largo plazo

Una metodología puesta a punto en Francia por Truhaut y Ferrando en 1971(17) permite, al menos en parte, responder a esta cuestión. Se trata de la *toxicología por etapas*, técnica que tiene en cuenta la metabolización de un com-

(11) S.G. Silverberg y F.J. Major, «Estrogens and cancer», J. Wiley y Sons, Nueva York, 1979.
(12) S. Nandi, *J. Environ. Pathol. Toxicol., 2,* 13, 1978.
(13) E.C. Horning, J.P. Thenot y E.D. Helton, *J. Toxicol. and Environ. Health, 4,* 341, 1978.
(14) L. Richou-Bac y J. Pantaieon, *Trav. Chim. aliment. hyg., 69,* 220, 1978.
(15) L. Richou-Bac, M.-F. Pochardet y B. Boursier, *Rec. Med. Vet., 154,* 441, 1978.
(16) J.M. Wal, *Ann. Nut. Alim., 33,* 325, 1979.
(17) R. Truhaut y R. Ferrando, *Toxicology, 3,* 361, 1975.




A vías de desintoxicación → B vías de intoxicación →

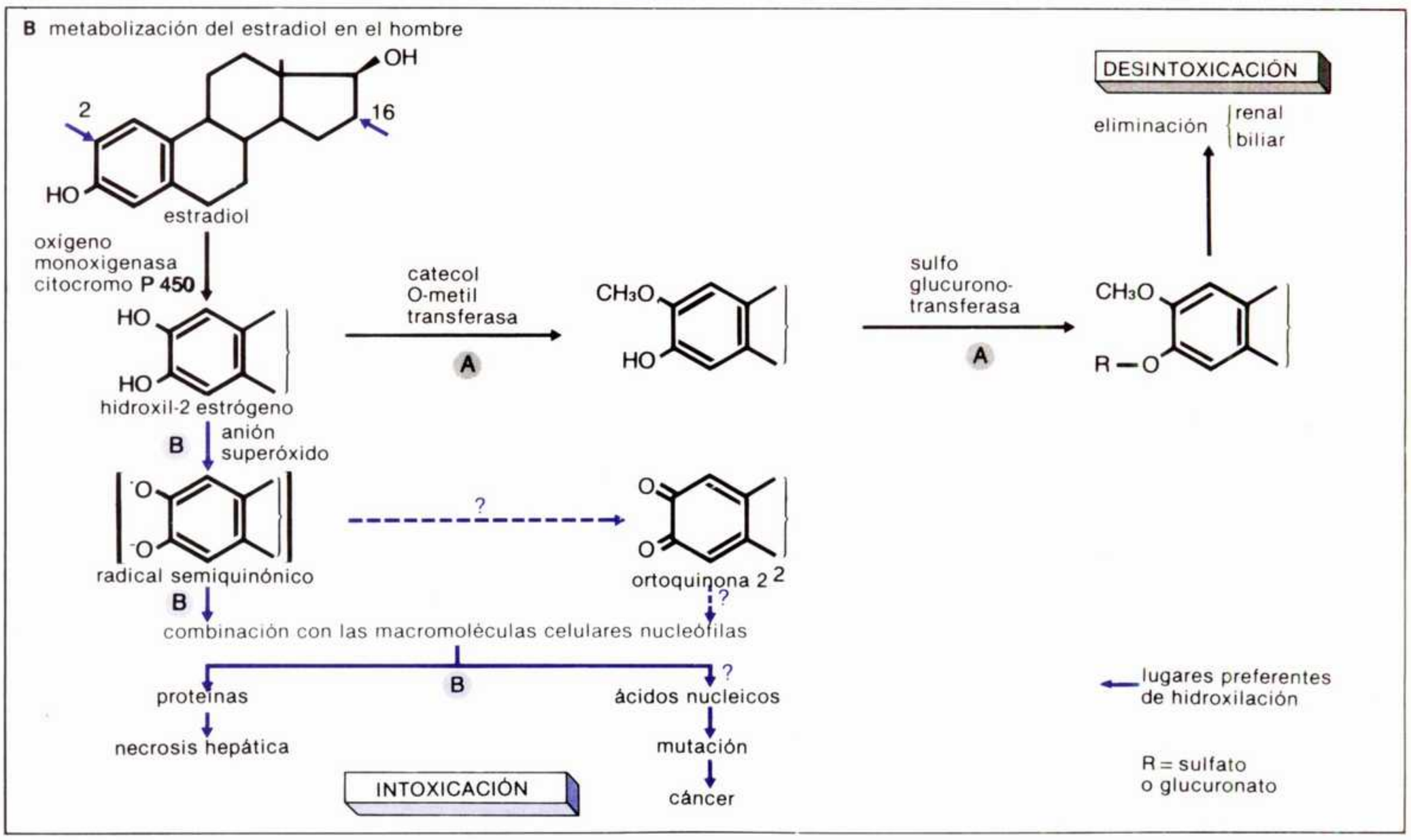



Figura 2. **En el organismo, tanto el estradiol como el DES, sufren transformaciones que conducen a la formación de metabolitos, que son eliminados seguidamente *(vía de desintoxicación)*. Pero, la metabolización también puede llevar a la formación de residuos biológicamente activos, que escapan por el momento a cualquier análisis *(vía de intoxicación)*. La comparación entre los esquemas de activación del DES (A) y del estradiol (B) demuestra una analogía sorprendente. Ambos originan intermediarios reactivos (semiquinónicos y quinónicos), susceptibles de reaccionar con los constituyentes celulares, y ocasionar así lesiones más o menos importantes (para el estradiol, las flechas indican las posiciones preferentes de hidroxilación en el hombre: en 2 (33 %) y en 16 (67 %).**

## ¿Experimentan los estrógenos una transformación inquietante en el organismo?

puesto. Desde el punto de vista práctico, se evalúa la eventual toxicidad de una sustancia dada al someter a muestras de ratas o ratones de ambos sexos, durante varias generaciones, a una dieta que contenga carne de animales tratados con el producto en cuestión. De este modo, estos autores han podido demostrar que, tras haber administrado carne de ternera con implantes de DES a las ratas y ratones, disminuía el ritmo de crecimiento en ambos sexos, provocaba esterilidad en las hembras y una importante atrofia en los órganos genitales de los machos.

En cambio y a efectos comparativos, el DES administrado directamente en la comida de las ratas sólo provoca una pequeña proporción de esterilidad (66 % de la tasa de fecundidad). Estos resultados ponen de manifiesto la potenciación de la toxicidad del DES después de su paso por el organismo bovino.(17) Un test muy sensible a la mutagénesis, basado en la reparación del DNA (test de intercambio de las cromátidas hermanas) ha demostrado recientemente que, si bien el DES poseía en realidad propiedades mutagénicas, algunos de sus metabolitos eran aún maś activos.(18) Estos resultados tienden a probar que, en el caso del DES, su metabolización conduce a un aumento de su toxicidad. Por el contrario, la técnica de la toxicidad por etapas, aplicada a las hormonas esteroideas naturales, implica resultados negativos.(17) Esto no significa que la carne de ternera tratada con estos anabolizantes esté totalmente desprovista de inconvenientes para la salud del consumidor, puesto que las conclusiones obtenidas con animales, referidas sin las debidas correcciones al hombre, tanto en un sentido como en otro, son muy aventuradas y poco fiables.

### El DES: una transformación inquietante

Según Metzler,(19) toxicólogo alemán que ha estudiado en detalle la metabolización del DES, su transformación en uno de sus metabolitos, el $\beta$ dienestrol, sería debida a una oxidación catalizada por un sistema enzimático de tipo peroxidasa. No puede descartarse que los sistemas enzimáticos que utilizan el anión superóxido, producto de la reducción parcial del oxígeno, intervengan también en este tipo de oxidación de los compuestos difenólicos.(20) Durante esta oxidación, se forman intermediarios que son reactivos electrófilos potentes (radical semiquinona y quinona) (V. fig. 2). Análogamente, a los mecanismos elucidados durante la bioactivación de los compuestos tóxicos de origen exógeno,(20) podemos imaginar que estos intermediarios reactivos reaccionan con los puntos ricos en electrones (funciones nucleófilas como los tioles) de las proteínas celulares. Estas modificaciones irreversibles de los constituyentes pueden acarrear una necrosis y, posteriormente, la muerte celular. Como el hígado es el lugar privilegiado para la transformación del DES, este tipo de mecanismo podría explicar la importante hepatotoxicidad del DES observada en el caso de sobredosis del producto. La acción de los intermediarios reactivos sobre los ácidos nucleicos, en particular sobre el DNA, podría conducir a una desorganización de la información genética, lo que daría lugar a mutaciones y, más tarde, en caso de no reparación o de reparación defectuosa de las lesiones, a la aparición de un proceso tumoral. Hay que remarcar que los tejidos cuyo crecimiento depende de los estrógenos (tracto genital) o que metabolizan activamente el DES (hígado, riñones...) poseen una actividad peroxidasa muy importante. Según Metzler,(19) esto podría explicar que los tejidos también serían territorios privilegiados del poder cancerígeno y fetotóxico del DES. Es indiscutible el hecho de que el DES implantado en animales de crianza se metabolice en su organismo. Esta bioactivación lleva consigo la formación de intermediarios reactivos más o menos estables cuya acción real sobre la salud de los consumidores... se ignora por ahora completamente... Y, todo hay que decirlo, ¡esto constituye una grave fuente de desazón e incertidumbre!

### El destino del estradiol

En caso de exceso de estradiol en el organismo, se forman igualmente intermediarios reactivos del mismo tipo que los del DES(21) (V. fig. 2). Si se excluye la hipótesis de una acción hormonal directa, tal mecanismo podría explicar la hepatotoxicidad o incluso algunos tipos de cáncer hepático observado durante el consumo excesivo y prolongado de medicamentos a base de estradiol o de sus derivados.(11) La comparación del proceso de transformación del DES y del estradiol demuestra analogías sorprendentes. Ambos dan lugar a intermediarios reactivos semiquinónicos primero, para convertirse luego en quinónicos, susceptibles de reaccionar con los constituyentes celulares, y ocasionar de este modo lesiones de mayor o menor importancia.(21) ¿Nos encontramos en presencia de estos residuos «biológicamente activos» que por el momento escapan a cualquier análisis? Es difícil afirmarlo. El problema de los residuos continúa siendo el mismo: el de los anabolizantes, pero sobre todo el de los antibióticos cuya presencia en la carne puede provocar, además de las reacciones alérgicas, fenómenos de resistencia bacteriana de consecuencias imprevisibles a largo plazo.(16)

### ¿Se pueden extraer conclusiones serias?

Las organizaciones de consumidores, los sindicatos de veterinarios o de campesinos y muchos otros afirman que la distinción que algunos pretenden establecer entre las hormonas artificiales, como el DES, reconocidas por todos como peligrosas para la salud y las hormonas naturales que serían inofensivas, o poco peligrosas, es totalmente ilusoria. Sería más justo hacer notar que el DES presenta, en relación con otros estrógenos anabolizantes, una toxicidad a largo plazo más específica puesta claramente de manifiesto tanto en los animales como en los seres humanos. También es cierto que si nos basamos en los datos científicos que disponemos actualmente, no es posible afirmar que las hormonas naturales sean totalmente inofensivas para la salud de los consumidores... Pero ¿son realmente peligrosas? Entonces, en estas condiciones ¿por qué no abandonar todas las hormonas utilizadas para la crianza, tanto naturales como artificiales? Ésta es la política que se sigue desde 1961 en un país como Holanda, gran exportador de carne.

Según la Asociación para la defensa de la carne de ternera, los profesionales son capaces después de todo de «fabricar» carne de ternera sin la utilización de hormonas. Si hoy se crían pollos «sin hormonas», ¿por qué no la ternera? Pero, el abandono de los anabolizantes requiere replantear por completo nuestro sistema de producción del animal de crianza, cosa que muchos no están dispuestos a considerar. Hay que desterrar la creencia, ampliamente difundida, de que sólo es posible lograr un crecimiento rápido de los terneros mediante la administración de anabolizantes. Una crianza realizada en condiciones confortables (locales aireados...), con una vigilancia sanitaria constante y una alimentación bien equilibrada, puede conseguir un aumento de peso de los terneros que, sin lugar a dudas, sería mejor aceptado por el consumidor que el uso de anabolizantes..., incluso los naturales.(1) Todo el problema radica en la puesta a punto y de forma rápida de una política de crianza basada en datos científicos indiscutibles. Ésta permitiría por fin la reconciliación de los ganaderos con los consumidores, que deberían ser los primeros en decidir sobre la calidad de la carne.

*André Picot.*

(18) H.W. Rudiger y otros, *Nature, 281*, 392, 1979.
(19) M. Metzler, *National Cancer Institute Monograph, 51*, 73, 1979; M. Metzler, R. Gottschlich y J.A. McLachlan, «Oxidative metabolism of stilbene estrogens», en «The Environment», Elsevier North Holland, 1980.
(20) A. Picot, «Aspect biochimique de la toxicité de diverses substances chimiques», CNRS, Gif-sur-Yvette, 1979.
(21) H.M. Bolt., *Pharmac. Ther., 4*, 155, 1979.

EX LIBRIS Scan Digit

The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

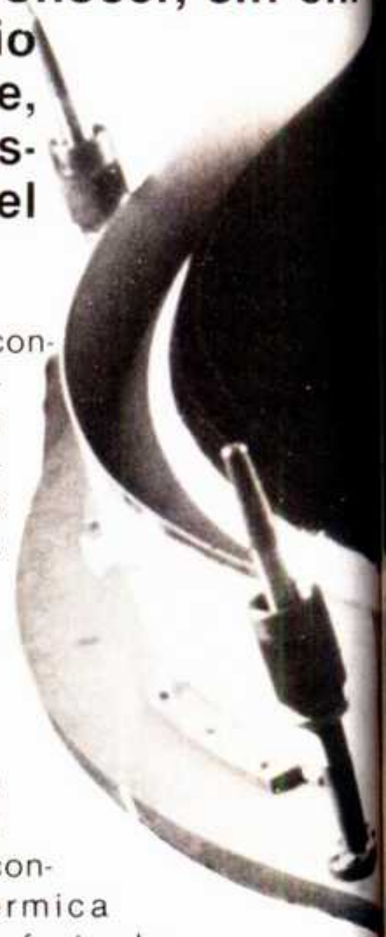
# La conducción del calor

por Jean-Paul Issi

**Jean-Paul Issi** profesor de la facultad de Ciencias aplicadas de la universidad católica de Lovaina, se dedica al estudio de los fenómenos de transporte de carga y calor en los materiales sólidos.

**■ La lana «es cálida» porque es un mal conductor térmico, o sea un aislante. Esta afirmación familiar se basa en una teoría física que está actualmente en su segunda etapa de desarrollo; pues, aunque explica satisfactoriamente por qué los metales, el diamante y el cuarzo conducen el calor, apenas dice nada en lo que se refiere a la conducción en los materiales amorfos, los cristales exóticos como los formados mediante inclusiones en grafito, y los semimetales.**

**■ Muchas ideas están bajo estudio, pero mientras la teoría de la conducción madura, la búsqueda de mejores aislantes apenas progresa. Hay que reconocer, sin embargo, que el problema del aislamiento térmico es mucho más amplio que el de la conducción. Toda esta problemática está, por otra parte, ligada estrechamente a la crisis de la energía, lo que ha servido de estímulo para que la física de la conducción térmica sea un tema en el que actualmente se investiga con gran intensidad.**



■ Un bloque metálico es frío al tacto, mientras que un trozo de lana parece caliente; sin embargo, los dos materiales se encuentran a la temperatura ambiente. Esta observación es un primer contacto del profano con el fenómeno de la conductividad térmica: como el metal es mejor conductor que la lana, evacúa más rápidamente el calor del cuerpo y provoca una sensación de frío. Recíprocamente podíamos haber dicho que la lana es mejor aislante que el metal. Conductividad y aislamiento térmicos (cuadro 1) aparecen estrechamente asociados y se podría creer que los conocimientos adquiridos sobre los mecanismos fundamentales de la conductividad favorecerían la aparición de nuevos aislantes. Pero en el campo tecnológico las cosas van mucho más lentas; para pasar de los modelos ideados para los sólidos cristalinos a la tecnología, hay que tener en cuenta muchos factores y las teorías no son suficientes, en modo alguno, para abordarlos.

Los conocimientos que la teoría y la experiencia habían aportado desde los primeros trabajos de Newton hasta los de Joseph Black a mediados del siglo XVIII se referían a la naturaleza del calor, la identificación de las entidades que lo transportan y la determinación de los mecanismos que aseguran el transporte. Muchos otros nombres ilustres están asociados a esta investigación: Joule, Helmholtz, Kelvin, Maxwell, Boltzmann, Fourier, Debye, Peieris, Casimir,... Actualmente, el esfuerzo combinado de los teóricos y los experimentadores ha convertido la conductividad térmica en una magnitud clave para comprender la física interna de los cristales y para, además, estudiar diversos tipos de defectos y anomalías.

### ¿Quién conduce el calor?

Antes de preguntar cuál es el agente que realiza el transporte de calor en un sólido podemos plantear la cuestión: «¿Cuándo y cómo se transmite el calor?». Un conjunto de observaciones y experiencias permite afirmar que cuando dos partes de un sistema se encuentran a temperaturas distintas, hay un transporte neto de calor desde las partes más cálidas a las más frías. Este calor se puede haber transferido según tres mecanismos distintos:

—por conducción a través de la sustancia, que es el fenómeno que estudiaremos aquí;

—por convección: el calor se transporta por movimiento relativo de algunas partes del medio. Sirvan como ejemplo las celdas de convección en un recipiente de aceite calentado (*La Recherche*, n.º 94, p. 954, 1978);

—por radiación: un fenómeno de propagación de origen electromagnético, que es la base del funcionamiento de los radiadores de infrarrojos.

La conducción no es más que uno de los tres mecanismos; pero el aislamiento los implica a todos. Esto explica parcialmente por qué las investigaciones fundamentales sobre conductividad térmica han sido más fructíferas que las referentes a la puesta a punto de nuevos aislantes.

Si nos limitamos a la conducción e intentamos identificar los mecanismos de la misma, enseguida nos daremos cuenta de que la respuesta simple que consiste en decir que el calor es transportado por las partículas libres de la red cristalina, o sea los electrones, no lo explica todo. Ha sido necesario que los físicos desarrollen una teoría de los sólidos para llegar a comprender el fenómeno. Sin embargo, antes de que ésta existiese se había observado que los metales son tan buenos conductores del calor como de la electricidad. Este comportamiento paralelo ha inducido durante mucho tiempo a error. Puesto que la conducción eléctrica es debida a los electrones libres del metal, era normal creer que las mismas partículas intervenían en la conducción térmica. Así, la ley de Wiedemann-Franz, que expresa la relación entre la conductividad térmica electrónica y la conductividad eléctrica en función de la temperatura, es ya más que centenaria (1853).

Sin embargo, ya a este nivel, existe una diferencia notable entre la conductividad eléctrica y la conductividad térmica electrónica. En efecto, la conductividad eléctrica se refiere a un transporte de carga, mientras que la conductividad térmica electrónica es un proceso de transporte de energía. En un proceso de conducción eléctrica se aplica una diferencia de potencial que imprime una dirección preferente al movimiento de las partículas cargadas. Es este movimiento, impuesto al movimiento inicial desordenado de las partículas, lo que se observa como corriente eléctrica. De hecho, la carga transportada por la corriente eléctrica permanece constante e igual a la carga electrónica. En una corriente térmica la energía que puede ser transportada por un electrón, a una temperatura dada, es función de la energía térmica que puede intercambiar a esa temperatura.

Esto último no es otra cosa que el calor específico electrónico, que en los metales es proporcional a la temperatura absoluta.

El hecho de que sólidos como el diamante (mejor conductor térmico) o el nitruro de boro, conocidos como aislantes eléctricos, conduzcan el calor a temperatura ambiente tan bien o mejor que los metales (figura 1), nos permite entrever que, además del de los electrones libres, existe por lo menos otro mecanismo de conducción térmica. Se trata, por los estudios realizados recientemente, de la «conductividad térmica de red», o conductividad por fonones (figura 2).

**El aislamiento térmico de la tercera etapa del cohete Ariane ha sido confiado a la sociedad Air Liquide. El «super aislante», puesto a punto para esta aplicación sofisticada, en la que el aspecto económico no ha jugado un papel determinante a la hora de buscar soluciones, tiene una estructura en forma de panal. Actualmente, una estructura de este tipo es la única que permite evitar las pérdidas por convección y minimizar el transporte de calor por radiación** (cuadro 1). (Foto de Air Liquid, Sassenage.)

### No son sólo los electrones

Es corriente representar los átomos de una red cristalina como bolas y las fuerzas interatómicas como muelles. Por otra parte, se sabe que a una temperatura dada todos los átomos de la red oscilan constantemente alrededor de su posición de equilibrio con elongaciones que varían con el tiempo. Cuando se eleva la temperatura en un extremo de un cristal, un gran número de átomos de esa región se pone a oscilar con una amplitud mayor, y este efecto se transmite al resto de la red por medio de las fuerzas intermoleculares. Este modelo de bolas unidas mediante resortes más o menos tensos, es útil para comprender el fenómeno de la propagación del calor; esto es, de la conducción en los aislantes eléctricos. El modelo del cristal real es el de una red tridimensional; esto significa un problema colosal, sobre todo si se tiene en cuenta que un cristal contiene un número del orden de $10^{23}$ bolas y resortes por cada centímetro cúbico.

Usando el lenguaje de la mecánica cuántica, cada vibración de la red cristalina se puede describir como una onda progresiva que transporta energía. Y de la misma manera que en la teoría cuántica se asocian partículas, los fotones, a las ondas luminosas; a las ondas acústicas se pueden asociar los fonones. Una vez establecida la equivalencia entre los aspectos corpuscular y ondulatorio, se puede suponer que el cristal se comporta como un conjunto de fonones contenidos en una caja. Éstos, al igual que los fotones obedecen la estadística de Bose-Einstein. Cuando se mantiene una diferecia de temperatura entre los extremos de una caja que contiene fonones, éstos se distribuyen de forma que se encontrará un mayor número de ellos en la zona cálida. Debido a esta diferencia de concentración, un mayor número de fonones se moverá desde las regiones más cálidas a las más frías más que en el sentido inverso. Se trata de la conductividad térmica por medio de la red. El concepto de fonón, muy adecuado para el estudio de los sólidos cristalinos, sigue siendo válido en el caso de los materiales amorfos, en los que sólo existe orden a corta distancia (véase *La Recherche*, nº 93, p. 846, octubre 1978). A pesar de este desorden, cada átomo tiene por lo menos una posición de equilibrio y puede oscilar alrededor de ella. Existen así, también aquí, los modos normales de vibración. Sin embargo, es mucho más difícil determinarlos en este caso que en el de los sólidos cristalinos, donde la periodicidad de la red permite simplificar el tratamiento matemático del problema.

En los materiales amorfos, además de los fonones, podría haber otro tipo de excitación de baja energía. Ésta provendría del hecho de que ciertos agentes pueden transitar, por efecto túnel, desde una posición de equilibrio de una cierta energía hasta otra de energía parecida.(1) Muchos investigadores han supuesto que son átomos lo que se transporta, pero esta hipótesis no ha obtenido hasta ahora ninguna confirmación experimental. Sin embargo, parece que lo que se transporta, sea lo que sea, tiene unas dimensiones parecidas a las de los átomos. Actualmente los investigadores compiten en ingenio para realizar la experiencia que aclare la naturaleza de la entidad que realiza la transición. Por otra parte, aunque está

(1) P.W. Anderson, B.I. Halperin y C.M. Varma, *Phil. Mag.*, *25*, 1, 1972; W.A. Phillips, J. Low, *Temp. Phys.*, *7*, 351, 1972.

**Algunos materiales pueden ser aislantes eléctricos a pesar de conducir el calor.**

admitido que estas excitaciones de dos niveles podrían constituir un mecanismo de difusión de fonones, parece ser que no significarían transporte de energía térmica. Así lo confirman las experiencias recientes del grupo de Andy Anderson en Champaign,[2] que parecen indicar que el transporte de energía se realiza únicamente por los fonones «ordinarios».

Vemos que, si se excluyen estas excitaciones típicas de los sistemas desordenados, existen dos tipos principales de portadores para la conducción del calor en un sólido a temperaturas bajas: los electrones y los fonones. Estos últimos se consideran como partículas y se tratan formalmente como tales; aunque sus propiedades intrínsecas (función de distribución de las partículas, capacidad de absorción de energía, etc.) difieren notablemente de las de las partículas reales.

### Conducción de calor sin conducción de electricidad

Mientras que todos los sólidos contienen fonones, existen algunos que no contienen electrones libres: se trata de los aislantes eléctricos. Así podemos esperar dos tipos distintos de comportamiento térmico. Cuando se mide la variación de la conductividad térmica con la temperatura (fig. 4) para los tres tipos de sólido (metales, aislantes eléctricos cristalinos y materiales amorfos) se obtienen las diferencias que se ven en las curvas de la figura 5. Entre los mejores conductores térmicos cristalinos se han citado el cobre y el diamante. Sin embargo, desde el punto de vista de la estructura electrónica, estos materiales ocupan polos opuestos. En efecto, el cobre es uno de los mejores conductores eléctricos conocidos, puesto que contiene una gran densidad de electrones libres: un electrón libre por cada átomo. En este material, los electrones de valencia están desligados de los átomos y se pueden mover en la red cristalina. Este gran número de electrones deslocalizados es el origen de las elevadas conductividades eléctricas y térmicas de los metales. El diamante puro es, por el contrario, un aislante eléctrico pues sus electrones de valencia están fuertemente unidos a los átomos de la red cristalina. No tiene en absoluto electrones libres y naturalmente es un material muy conveniente para discutir una conductividad exclusivamente por fonones. Se podría haber escogido también el cuarzo, el silicio o el germanio puros. Resulta curioso que, aunque el mecanismo de la conducción térmica es totalmente distinto en los metales y en los aislantes cristalinos, las curvas tengan aspectos parecidos: un aumento con la temperatura, que precede a un máximo, y después una disminución.

Como representante del tercer tipo de materiales se escoge a menudo el silicio amorfo que es un aislante eléctrico. A diferencia del cuarzo que tiene la misma composición química, este material no es cristalino. Mientras que la curva de conductividad térmica del cuarzo tiene la misma forma que la del diamante, el silicio amorfo tiene conductividad mucho más débil y una dependencia con la temperatura totalmente distinta.

Se observa que en la región de temperaturas bajas la conductividad térmica aumenta al aumentar la temperatura, después presenta una zona estacionaria cerca de los diez grados Kelvin, para continuar aumentando después. Este comportamiento es típico, desde el punto de vista cualitativo, de todos los materiales no cristalinos. Además, incluso los valores de las conductividades térmicas para las distintas temperaturas no varían mucho de un sólido amorfo a otro. Así, estos valores serán prácticamente insensibles a las impurezas e imperfecciones.

### Cuando el cristal es perfecto

En el caso de los aislantes eléctricos como el diamante, las únicas partículas asociadas al transporte de calor son los fonones. Su rapidez de propagación es la de la velocidad del sonido en el cristal, esto significa que es prácticamente

## 1. El aislamiento térmico

Foto Oil Gramingen Nederland.

■ La investigación de mejores aislantes se basa en el control de las tres formas de transmisión de calor: conducción, convección y radiación. Si nos restringimos al uso de materiales sólidos opacos y homogéneos, interviene únicamente la conducción, y nos vemos limitados al dominio de conductividades débiles (ver figura).

Se puede entonces utilizar en forma inteligente el hecho de que el aire y los gases son generalmente conductores térmicos muy malos. Para hacer esto hay que arreglárselas para evitar la convección. Esto se puede lograr aprisionando el gas en un volumen suficientemente pequeño, por ejemplo en un poro de diámetro inferior a un milímetro. En este principio se basa el uso de materiales no compactos: fibrosos, porosos o pulverizados. La lana, el ladrillo, la lana de vidrio, la espuma, las cerámicas... son los ejemplos más conocidos.

Es corriente utilizar también plásticos y vidrios celulares (A). Su estructura hace largo y tortuoso el camino que sigue el calor, y la conductividad se reduce. Un ejemplo conocido es el poliestireno expandido que tiene una conductividad térmica inferior a una décima de watio por metro y por grado ($\sim 3{,}5\ 10^{-2}$), que es prácticamente la del aire en reposo.

Para mejorar esto minimizando la radiación hay que recurrir a las paredes reflectantes. Hay dos soluciones de lujo, pero cuyo coste prohibitivo limita su aplicación práctica; se trata de los sistemas «multicapas» y de los «microporos». Estos «superaislantes» se han desarrollado inicialmente para las aplicaciones aeroespaciales (figura inicial) y criogénicas, en las que el aspecto económico no juega siempre un papel determinante en la elección de soluciones.

En los sistemas multicapa, se utilizan muchas hojas de aluminio separadas por polvo o enrejados aislantes, de forma que los contactos con el metal sean puntuales. Todo este conjunto se encuentra en un recipiente en el que se ha creado el vacío. Se llega así a conseguir conductividades del orden de la diezmilésima ($10^{-4}$) de watio por metro y por grado que es el límite alcanzado en nuestros dias.

Se intenta actualmente fabricar silicio con poros microscópicos, con un diámetro medio del orden de la décima de micra. Se pueden disminuir todavía las pérdidas por radiación recubriendo el silicio con óxidos opacos a la radiación infrarroja. Éste es el principio de los sistemas de microporos.

(2) M.P. Zaitlin y A.C. Anderson, *Phys. Rev., BI2*, 4475, 1975.

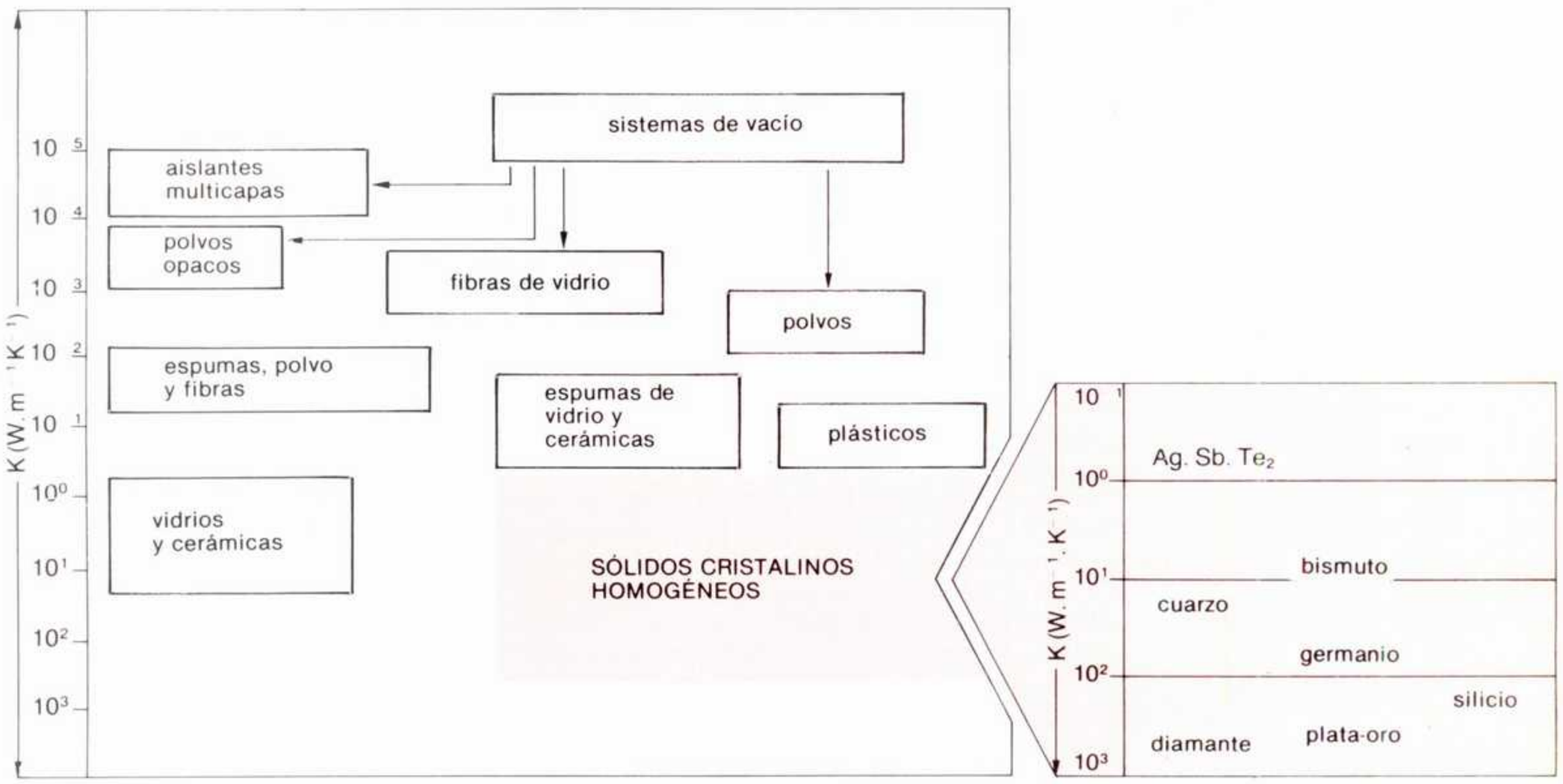


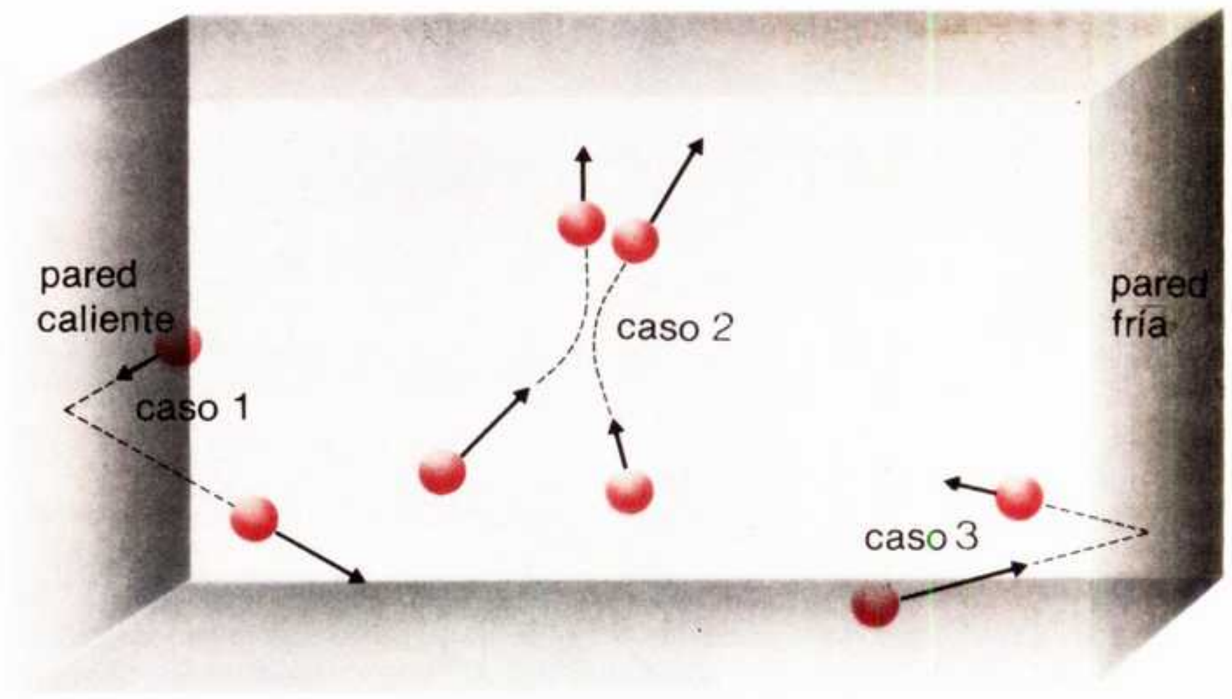

Figura 1. **Este cuadro permite repasar rápidamente las conductividades térmicas de una amplia gama de materiales en la vecindad de la temperatura ambiente. Se observa que entre el mejor conductor térmico que es un sólido cristalino, el diamante, y el mejor aislante, que está constituido por un vacío multicapa, hay siste órdenes de magnitud. Si nos limitamos a la gama de los sólidos cristalinos homogéneos, los valores se despliegan sobre casi tres órdenes de magnitud; esto es lo que limita y complica la realización de un aislante térmico. Habrá que recurrir a los materiales no compactos, porosos o fibrosos para conseguir un aislamiento suficiente: espumas, polvo y fibras.**

## 2. Teoría cinética y expresión de la conductividad térmica

■ Las primeras expresiones microscópicas de la conductividad térmica se establecieron para el caso de un gas ideal cuyas moléculas estaban contenidas en un tubo cuyos extremos están a temperaturas distintas.

El proceso de transmisión de energía desde la pared caliente hasta la pared fría se puede esquematizar del siguiente modo: las moléculas chocan con la pared caliente (caso **1**), salen de la colisión con una energía superior, a continuación chocan con las otras moléculas más frías (caso **2**), estas últimas ganan energía y chocan a su vez con otras moléculas más frías (caso **2**); etc. Las interacciones de este último tipo ocurren un gran número de veces por unidad de tiempo y con mayor frecuencia cuanto más pequeño es el recorrido libre medio. Al final, las moléculas que chocan contra la pared fría lo hacen cediendo energía (caso **3**). Puesto que el número de moléculas es muy grande las interacciones son también muy numerosas, entonces un tratamiento estadístico del problema nos permite explicar rigurosamente el proceso.

A partir de estos argumentos sencillos, se puede comprender toda la física




que rige la fórmula cinética de la conductividad térmica $\lambda \sim C\,v\,l$. Cuanto mayor sea la capacidad de la molécula para absorber energía, es decir su calor específico C, más cantidad podrá transportar a una velocidad y distancia dadas. Cuanto mayor sea la velocidad y o la distancia entre dos choques 1, más lejos será transferida la energía.

La discusión que realizaremos sobre los mecanismos de transporte de calor en sólidos se basará siempre en considerar un conjunto de partículas bien definido: electrones o fonones, de los cuales analizaremos su comportamiento cinemático. En el caso de los fonones, la expresión de la conductividad térmica recibe el nombre de fórmula de Debye.

**Cerca del cero absoluto, la conductividad térmica de los sólidos amorfos sigue siendo enigmática.**

independiente de la temperatura (cuadro 2). Así, a temperaturas altas, donde el calor específico es constante, la conductividad térmica vendrá determinada por la distancia recorrida por los fonones entre dos colisiones sucesivas; esto es, la conductividad térmica dependerá del recorrido libre medio (fig. 3). Después de una interacción fonón-fonón, la dirección del fonón resultante puede estar en el mismo sentido que el flujo original o en el opuesto. En el primer caso, se habla de procesos «normales», y en el segundo de procesos «umklapp». Los procesos «umklapp» limitan el recorrido medio y contribuyen directamente a crear una resistencia al flujo térmico.

Puesto que la probabilidad de una colisión depende de la densidad de fonones, y que a temperaturas elevadas hay más fonones con energías altas que a temperaturas bajas, el número de procesos «umklapp» aumenta con la temperatura. Esto explica que, más allá del máximo, la conductividad térmica puede aumentar mientras la temperatura disminuye (figura 5). En efecto, el número de fonones disminuye con la temperatura, lo mismo ocurrirá con su probabilidad de interacción mutua, por consiguiente, aumentará también el recorrido libre medio, lo que se refleja en la conductividad.

A temperaturas muy bajas, para un cristal perfecto infinito, el recorrido libre medio tiende a infinito. Sin embargo, para una muestra real de dimensiones finitas, cuando el recorrido libre sea del mismo orden que estas dimensiones, por ejemplo el diámetro para una muestra cilíndrica, los fonones se reflejan en la pared y el recorrido libre medio se mantendrá constante e igual a este diámetro. Entonces, debido a que el calor específico de la red varía según el cubo de la temperatura, lo mismo ocurrirá con la conductividad térmica antes del máximo. También ocurre que, en la vecindad del máximo, el recorrido libre medio de los fonones es muy sensible a todo lo que perturbe la periodicidad de la red cristalina: impurezas, defectos locales, dislocaciones.

### Cuando el material no es cristalino

La conductividad térmica de red es el tipo dominante de los mecanismos de conducción del calor en los materiales amorfos no metálicos. El caso metálico ha sido poco estudiado hasta el presente. El hecho de que esta conductividad

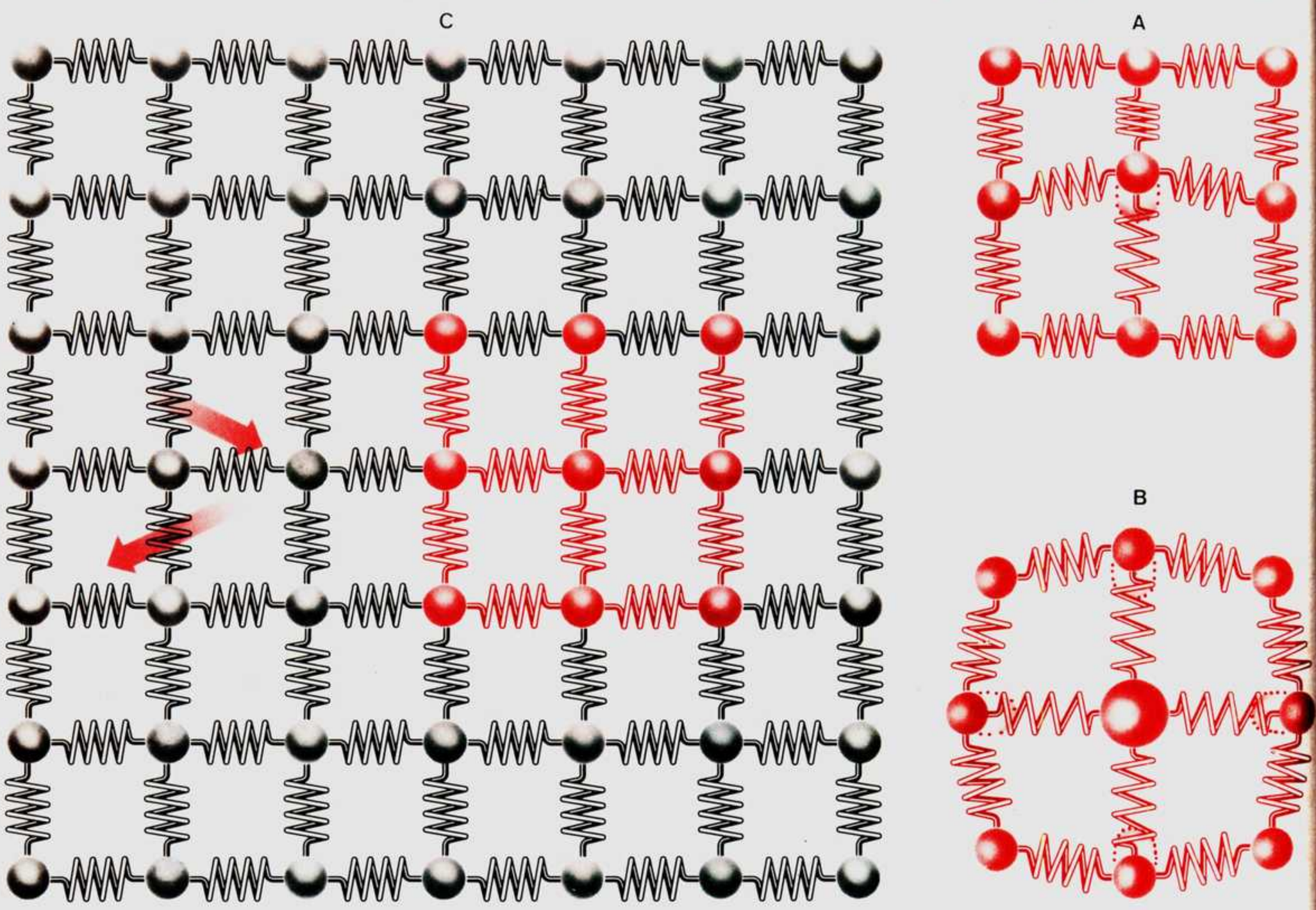



Figura 2. **En un cristal, los átomos de la red oscilan. Cada oscilación se puede describir mediante el lenguaje cuántico como una onda progresiva que transporta energía: el fonón. Cuando se suministra energía térmica a un cristal, al ponerlo en contacto con un foco caliente por ejemplo, se incrementan las oscilaciones y ¡el número de fonones aumenta!**
**El cristal como conjunto se comporta como si se introdujesen fonones por el extremo caliente y se extrajesen por el frío.**
**Para entender cómo se propagan los fonones hay que preguntarse primero cómo se generan. Con respecto a estas cuestiones es relevante el hecho de que las oscilaciones de la red cristalina son anarmónicas. Se puede ver esto en una forma simple a partir de las figuras** A y B. **Un fonón se crea por un desplazamiento de los átomos. En** A **se ha representado esquemáticamente un átomo y su entorno inmediato dentro del cristal; en** B **se observa que un desplazamiento hacia arriba del átomo central da lugar a una compresión del muelle superior y a un alargamiento de los otros tres a los que el átomo está unido. Debido a la forma del potencial cristalino, las fuerzas recuperadoras de los resortes no son proporcionales a los desplazamientos, y no quedarán determinadas sólo por las constantes elásticas. En consecuencia, las propiedades elásticas en la proximidad del átomo desplazado serán ligeramente distintas de las del resto del cristal. Otro fonón que se acerque a esta región se encontrará con una densidad diferente y se reflejará. De la misma manera, en** B, **si se introduce un defecto en la red cristalina, la zona alrededor de éste se ve modificada. En** C **se ha representado el efecto de la sustitución de un átomo de la red por otro más voluminoso. También en este caso, un fonón que se acerque a este átomo verá una densidad diferente y se reflejará** C.

sea inferior a la de un material cristalino no debe sorprendernos.

Si partimos de un sólido cristalino e introducimos gradualmente defectos, observaremos que la conductividad térmica disminuye al aumentar la concentración de éstos. En el límite, se puede suponer que las propiedades del cristal convergen hacia las del sólido amorfo para una concentración de impurezas suficientemente grande. Ésta es una forma, quizás un poco simplista, de imaginar el paso de cristal a material amorfo. ¿Hasta qué punto es simplista? Ésta es una pregunta que, por lo que se refiere a la conductividad térmica, se encuentra en estudio. En 1951, Berman irradió cuarzo cristalino con neutrones y observó que, por encima de 2 K, la conductividad térmica decrecía al aumentar la irradiación. Para las dosis máximas el comportamiento del sistema se aproximaba mucho al de los sistemas amorfos; sin mostrar, no obstante, la zona estacionaria característica. Los defectos puntuales, como los huecos, podrían explicar la disminución de conductividad térmica después del máximo situado más allá de los 10 K. Sin embargo, Klemens ya había indicado en esta época que deben considerarse defectos de grandes dimensiones para explicar la variación de la conductividad antes del máximo. Medidas recientes, realizadas por Christiane Laermans de la KUL de Leuven, en colaboración con B. Daubin primero y más tarde con Anne-Marie de Goer y Marcel Locatelli en Grenoble,[3] han permitido generalizar los resultados de Berman a temperaturas inferiores a 2 K. Estos investigadores han señalado que una dosis débil de neutrones tiene un efecto más importante que una dosis mayor de electrones; se supone que estos últimos no pueden provocar más que defectos puntuales, mientras que los neutrones pueden producir defectos de grandes dimensiones. Asimismo, los trabajos realizados en Grenoble han mostrado que una parte de la curva parece contener un tramo estacionario y que por debajo de una décima de grado Kelvin la conductividad térmica es prácticamente proporcional al cuadrado de la temperatura. Todo esto es curiosamente parecido al caso de los materiales amorfos. Estos resultados no se han interpretado todavía de una forma definitiva y posiblemente nos reservan sorpresas.

Por debajo de 1 K, si se confirma que los fonones normales son los principales agentes del transporte de calor, sus colisiones sólo podrán ser explicadas recurriendo a algún mecanismo propio de los materiales amorfos. De esto a decir que se trata de las excitaciones de dos niveles sólo hay un paso, que algunos no vacilan en dar. Por encima de 1 K, la variación de la conductividad térmica y la presencia de la zona estacionaria, características de los materiales amorfos, continúan sin explicación. Sin embargo, no faltan tentativas de interpretación, pero ninguna ha conseguido la aceptación general. Aquí son también los fonones los que contribuyen a la conductividad térmica, y la teoría que explique los resultados observados deberá incluir un mecanismo de colisión en el que la eficacia aumente rápidamente con la frecuencia.

### Los fonones importantes

Volvamos a los sólidos cristalinos. Aunque formalmente todos los fonones contribuyen al transporte de calor, generalmente se tiene en cuenta solamente a los más energéticos, es decir a los que contribuyen a casi la totalidad del calor específico. La mayor parte de los resultados experimentales se han interpretado sobre esta base. Sin embargo, ya durante los años cincuenta, Paul Klemens[4] y Conyers Herring[5] habían previsto que la contribución a la conductividad de los fonones de baja energía podría no ser despreciable en algunos casos. Herring insistió en el hecho de que la importancia relativa de esta contribución debía depender de la simetría del cristal o, con mayor precisión, de la anisotropía de sus propiedades elásticas. Ha sido muy recientemente cuando estas ideas han encontrado un soporte experimental. En efecto, Savvides y Goldsmid, en Sydney, demostraron en 1973 que para los cristales de simetría cúbica esta contribución, que es insignificante en un medio ideal, podía ser importante en presencia de defectos puntuales.[6] La idea se basa en el hecho de que la presencia de defectos puntuales disminuye preferentemente el recorrido libre medio de los fonones de mayor energía, y con ello su contribución a la conductividad térmica, con lo que se incrementa la importancia re-

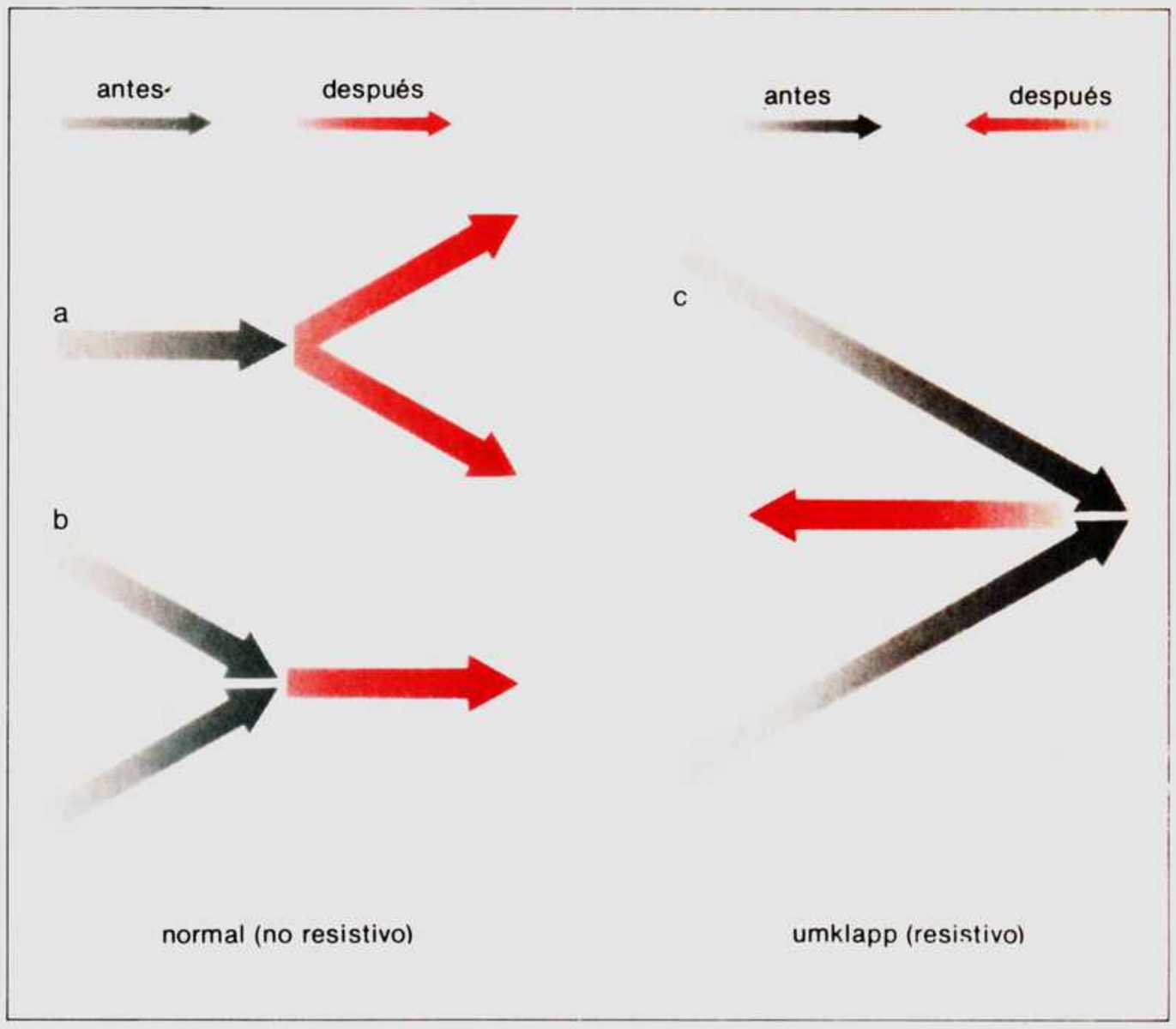



Figura 3. **En el tipo principal de interacciones fonón-fonón participan tres fonones; bien porque a partir de dos se obtiene uno, o bien porque un solo fonón da lugar a la aparición de otros dos. La probabilidad de este tipo de colisiones depende de la densidad de fonones. Como la energía se conserva en la colisión, la del fonón resultante debe igualar a la de los fonones incidentes. Sin embargo, después de la interacción, el sentido del movimiento del fonón resultante puede ser igual al del flujo original, pero también puede ser el opuesto. En el primer caso se dice que el proceso es «normal» y en el segundo se le llama «umklapp».**

**Aunque un proceso «normal» no contribuye directamente a la resistencia térmica, el fonón resultante tiene una cantidad de movimiento mayor que los fonones incidentes. En el límite, dos fonones muy pequeños para sufrir un proceso «umklapp» o un choque con una imperfección, pueden crear un tercer fonón que tendría suficiente cantidad de movimiento para ser candidato a una de estas colisiones. Así, los procesos «normales» permiten una redistribución de la cantidad de movimiento y de la energía en el seno del sistema de fonones. Transfieren fonones de energía baja hacia la zona de energías más elevadas donde ocurren las colisiones resistivas más frecuentes, y de esta forma contribuyen indirectamente a crear una resistencia al flujo térmico.**

(3) C. Laermans, A.M. de Goër, y M. Locatelli, *Phys. Letters 80A*, 331, 1980.
(4) P.G. Klemens, *Proc. Roy. Soc.* (London), *A. 208*, 108, 1951.
(5) C. Herring, *Phys. Rev., 95*, 954, 1954; *96*, 1163, 1954.
(6) N. Savvides y H.J. Godsmid, *J. Phys. C.: Solid State Phys., 6*, 1701, 1973.

**Cuando el arsénico es útil para comprender los mecanismos de conducción térmica.**

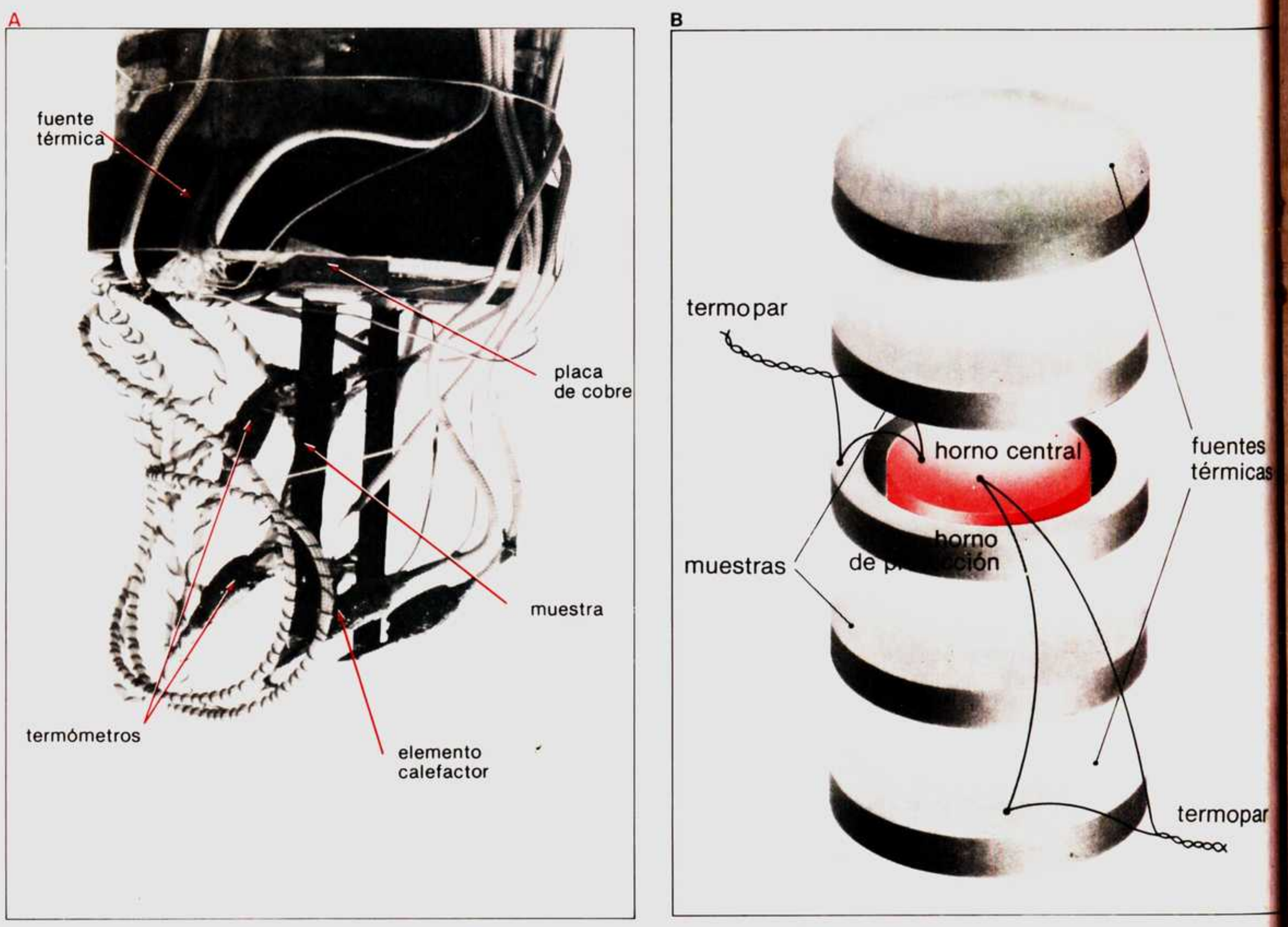



Figura 4. **En contraste con el principio en que se basa, la medida de la conductividad térmica es una de las más difíciles de llevar a cabo en el laboratorio. Para realizarla, se mantiene un extremo de la muestra en buen contacto térmico con una fuente térmica a una temperatura determinada, fija e independiente de la cantidad de calor que se intercambie; en el otro extremo de la muestra, se suministra una potencia térmica conocida y se mide la diferencia de temperaturas que se produce** (A). **A partir de aquí se puede deducir la conductividad térmica mediante cálculo.**

**En la práctica las cosas no son tan sencillas. Uno de los métodos, que se aplica generalmente a los malos conductores, es el del anillo de protección** (B). **Se ajusta un horno de protección que tenga la misma temperatura que el horno central. Se pretende evitar de esta forma las pérdidas térmicas laterales al nivel del horno principal y en la parte central de la muestra. Para el cálculo de la conductividad térmica se cuenta únicamente el calor suministrado por el horno principal y que atraviesa la parte central de la muestra. Este método reduce las pérdidas, pero presenta el inconveniente de no eliminar la resistencia de contacto que contribuye al salto de temperatura, falseando así la medida.**

lativa de los fonones de energías bajas. Por otra parte, Conyers Herring[5] preveía que en ciertos materiales anisótropos pero exentos de impurezas, la contribución de los fonones de energía baja podría ser apreciable, incluso a temperaturas relativamente altas. Es el caso de los materiales de estructura romboédrica (caras en forma de rombo). En estos materiales, aunque los fonones de energías bajas sean poco numerosos a temperaturas altas, su recorrido libre medio es tan grande que pueden contribuir a la conductividad térmica en una forma comparable a la de los fonones más energéticos. En 1972 el autor de este artículo y Jean Mangez, después de unas medidas exploratorias, sugirieron que el bismuto se encontraba posiblemente en este caso. No fue hasta tres años más tarde, y gracias a una delicada medida comparativa, que pudimos demostrar sin lugar a dudas la validez de esta hipótesis[7] confirmando de esta manera la predicción que Herring había realizado veinte años antes. Desde el punto de vista de la fundamentación, estos trabajos permiten comprender mejor las interacciones entre fonones en los sólidos. Además, la aplicación de estas ideas podría dar una salida al problema de la conversión termoeléctrica (fig. 6). En efecto, sería posible controlar independientemente el recorrido libre medio de los fonones de baja energía y disminuir así la conductividad térmica de red sin alterar la conductividad eléctrica o el coeficiente de Seebeck.

### Cuando todos quieren hacerlo

Y ahora estamos ya preparados para estudiar los metales puros. Debido a que, en un metal la energía de los electrones es muy elevada y, además, los fonones son difundidos por estos electrones, resulta que a cualquier temperatura los electrones son los principales responsables de la conducción del calor. Si tratamos los electrones como partículas según los métodos de la teoría cinética (cuadro 2) es posible explicar la variación de la conductividad de los metales con la temperatura (fig. 5). Siendo el calor específico proporcional a la temperatura y a la velocidad electrónica supuesta constante, necesitamos un solo parámetro para sustituir en la fórmula el recorrido libre medio de los electrones. A temperaturas elevadas, el número de fonones que dificultan el movimiento de los electrones aumenta linealmente con la temperatura, de manera que ocurrirá lo mismo con la probabilidad de colisión electrón-fonón. De aquí resulta un recorrido libre medio inversamente proporcional a la temperatura y una conductividad térmica electrónica constante. Cuando la temperatura disminuye, la densidad de fonones decrece muy rápidamente, y con ella la probabilidad de una colisión. Entonces

como en el caso de los fonones, el recorrido libre medio se ve limitado por las colisiones con los defectos estáticos, y ya no depende de la temperatura. En este caso, la conductividad térmica varía como el calor específico; es decir, proporcionalmente a la temperatura.

En Zurich, mediante experiencias muy precisas, Olsen ha demostrado, haciendo variar la concentración de efectos estáticos, cómo se puede alterar la resistividad térmica del oro. Una medida de resistividad térmica permite determinar la perfección de un cristal y está directamente relacionada con los procesos a que se ha visto sometido. Hay que ser cuidadoso al utilizar materiales a temperaturas bajas. Puesto que, mientras a temperatura ambiente, la conductividad térmica de muestras de cobre que se han visto sometidas a distintos tratamientos no es muy diferente, al disminuir la temperatura se aprecian disparidades de hasta varios órdenes de magnitud. Mientras no se desarrolle un sistema criogénico, es importante y primordial tener presente este hecho y conocer el origen de las muestras que se utilicen.

En otros sólidos como los semimetales y los semiconductores fuertemente dopados, los electrones, huecos positivos y fonones compiten en el transporte de energía térmica. La conductividad total es entonces igual a la suma de estas contribuciones.

El caso de los semimetales pertenecientes al grupo V, arsénico, antimonio y bismuto, es particularmente interesante. Los semimetales comparten con los metales la propiedad de tener electrones libres a todas las temperaturtas; sin embargo, su densidad es más pequeña. El arsénico es el más rico en electrones y el bismuto el más pobre. En este último caso, la densidad de electrones libres es cien mil veces inferior a la de los metales y varía con la temperatura. Se debe pues esperar en estos sólidos un comportamiento intermedio entre el de los metales y el de los aislantes, así como una contribución electrónica más importante en el arsénico que en el antimonio y el bismuto. La medida reciente de la conductividad térmica del arsénico[8] ha permitido constatar que es exactamente esto lo que ocurre; así como, que la conductividad electrónica predomina en el arsénico y es importantes en el bismuto. El caso del bismuto merece un análisis más amplio. En la región de 2 a 20 grados Kelvin, la conductividad es debida a la red. Si se aumenta la temperatura la conductividad de la red disminuye dejando aparecer una componente electrónica, tanto más acentuada por el hecho de que la densidad electrónica crece con la temperatura. Antes del máximo,

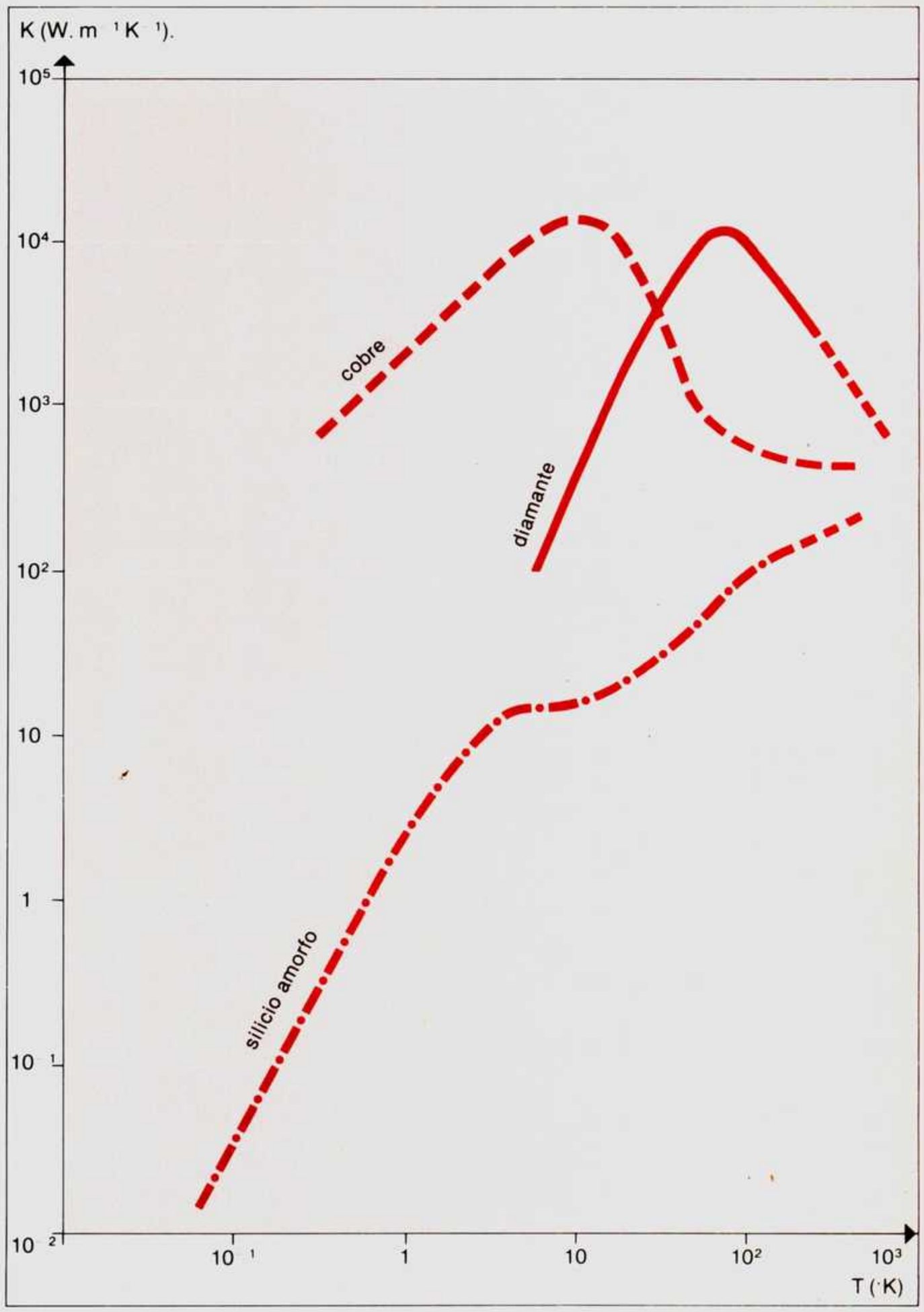
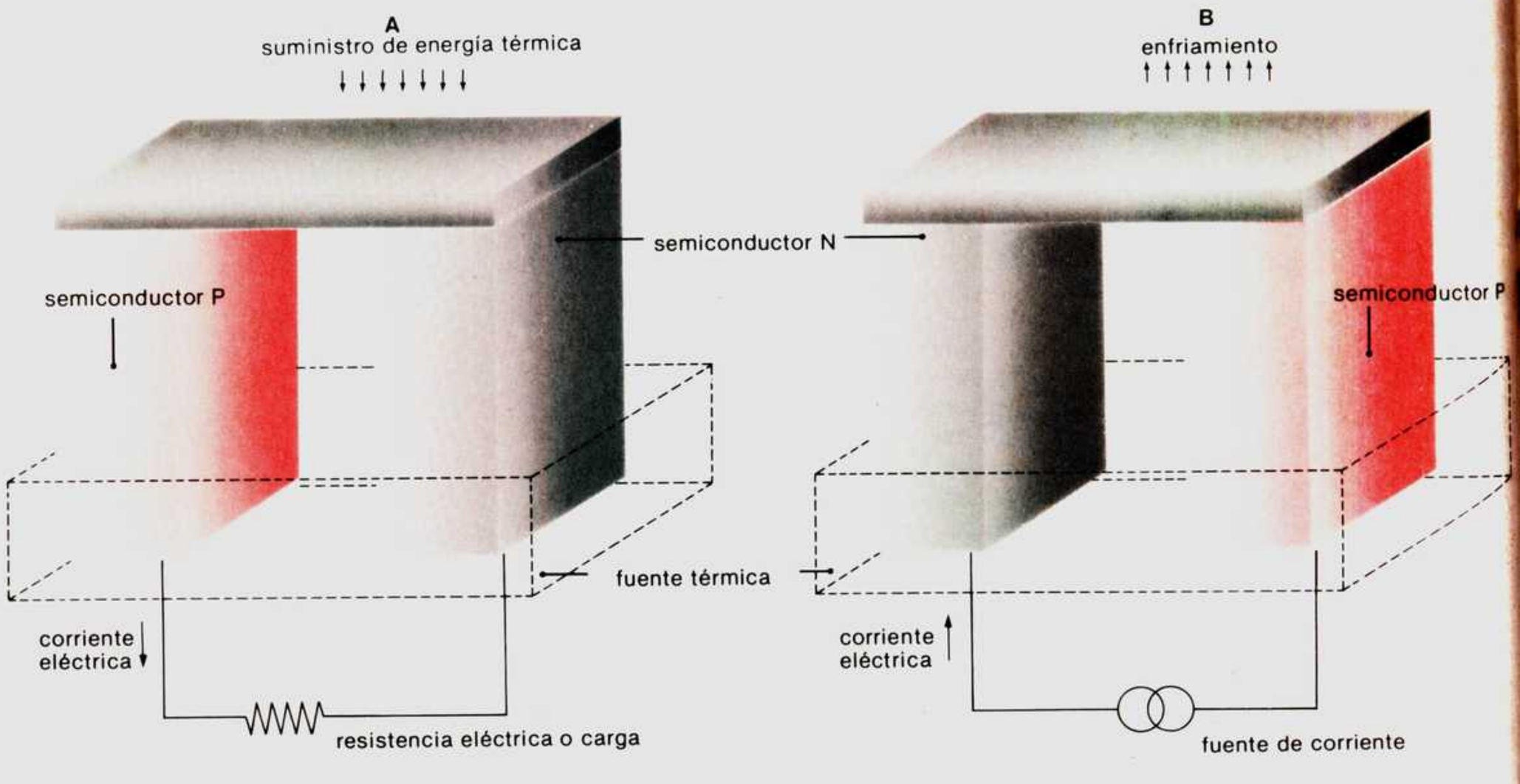


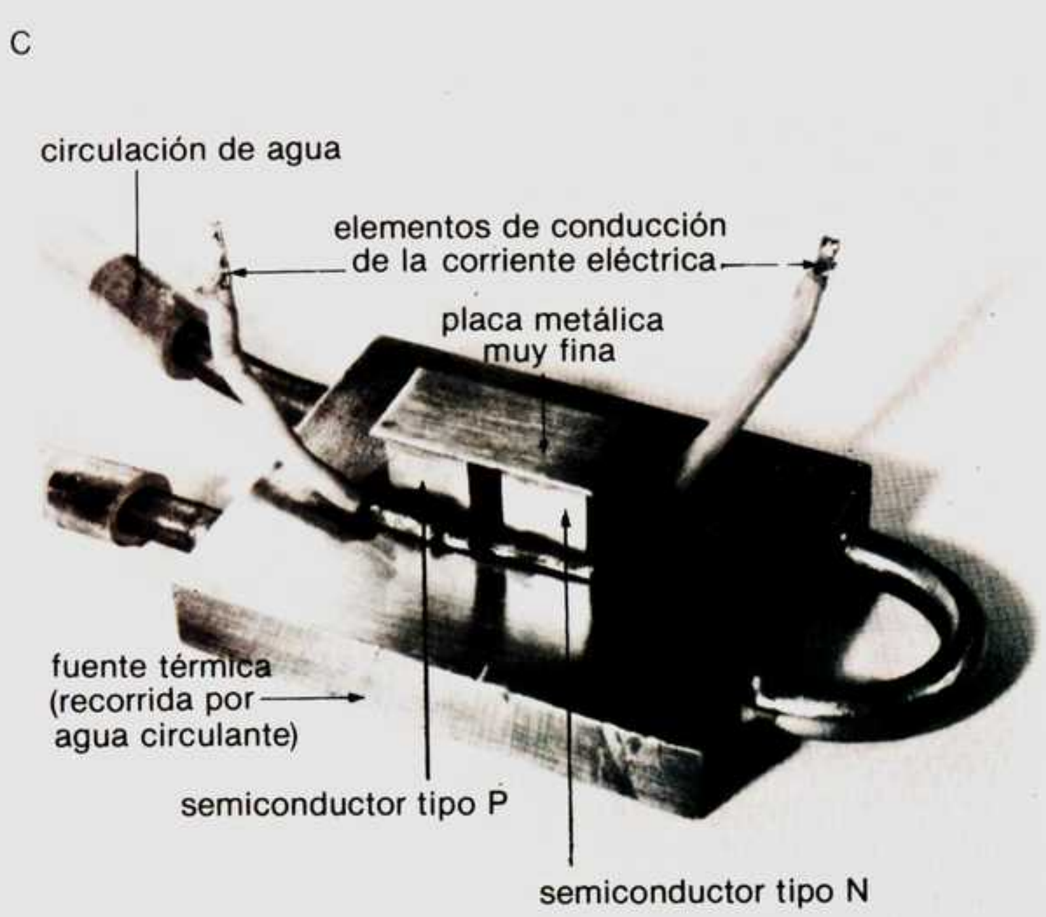

Figura 5. **Estas curvas ilustran la dependencia de la conductividad térmica respecto a la temperatura para tres materiales representativos de tres tipos distintos de sólidos. El cobre y el diamante pertenecen ambos a la gran familia de los sólidos cristalinos. Mientras que el cobre es uno de los mejores conductores eléctricos conocidos, el diamante es un aislante eléctrico. La forma de las curvas es parecida: un aumento que precede a un máximo, seguido por una disminución. Esta similitud es sin embargo engañosa, pues los agentes de la conducción no son los mismos en los dos casos. El diamante únicamente contiene fonones mientras que el cobre, además de fonones, contiene una gran densidad de electrones libres. Este gran número de electrones móviles distribuidos por la red es el origen de las elevadas conductividades eléctrica y térmica de los metales. En el diamante, los electrones están unidos fuertemente a los átomos de la red y el transporte de calor se hace por un mecanismo puramente fonónico.**

**El tercer material es el silicio amorfo, un aislante eléctrico no cristalino. La estructura de los materiales amorfos se caracteriza por la falta de orden de largo alcance; esto es, por la ausencia de periodicidad. La conductividad térmica del silicio amorfo es mucho más débil que la del diamante y varía con la temperatura de una manera muy distinta. Primero se observa que a temperaturas muy bajas la conductividad aumenta con la temperatura, sigue una zona estacionaria y después un nuevo aumento. Este comportamiento es típico de los materiales amorfos y para explicarlo hay que recurrir a la contribución de dos mecanismos de conducción térmica: los fonones, y algún tipo de excitación de baja energía. Éste provendría del hecho de que ciertos agentes podrían transitar desde una posición de equilibrio hacia otra de energía próxima por efecto túnel. El modelo de excitaciones de dos niveles se ha visto contestado por las experiencias de A. Anderson en Champaign que parecen indicar que el transporte de energía sólo se realiza por fonones «ordinarios».**

(7) J.P. Issi, J.-P. Michenaud y J. Heremans, *Proc. 14 th. Int. Conf. on thermal conductivity,* Storrs, Connecticut, p. 127, Plenum, New York 1976.
(8) J. Heremans, J.-P. Issi, A.A.M. Rashid y G.A. Saunders, *J. Phys. C., 10,* 4511, 1977; C. Uher, *J. Phys., F8,* 2559, 1978.

**No pocas personas que viajan en ferrocarril deben al efecto Peltier su confort cuando el tiempo es caluroso.**



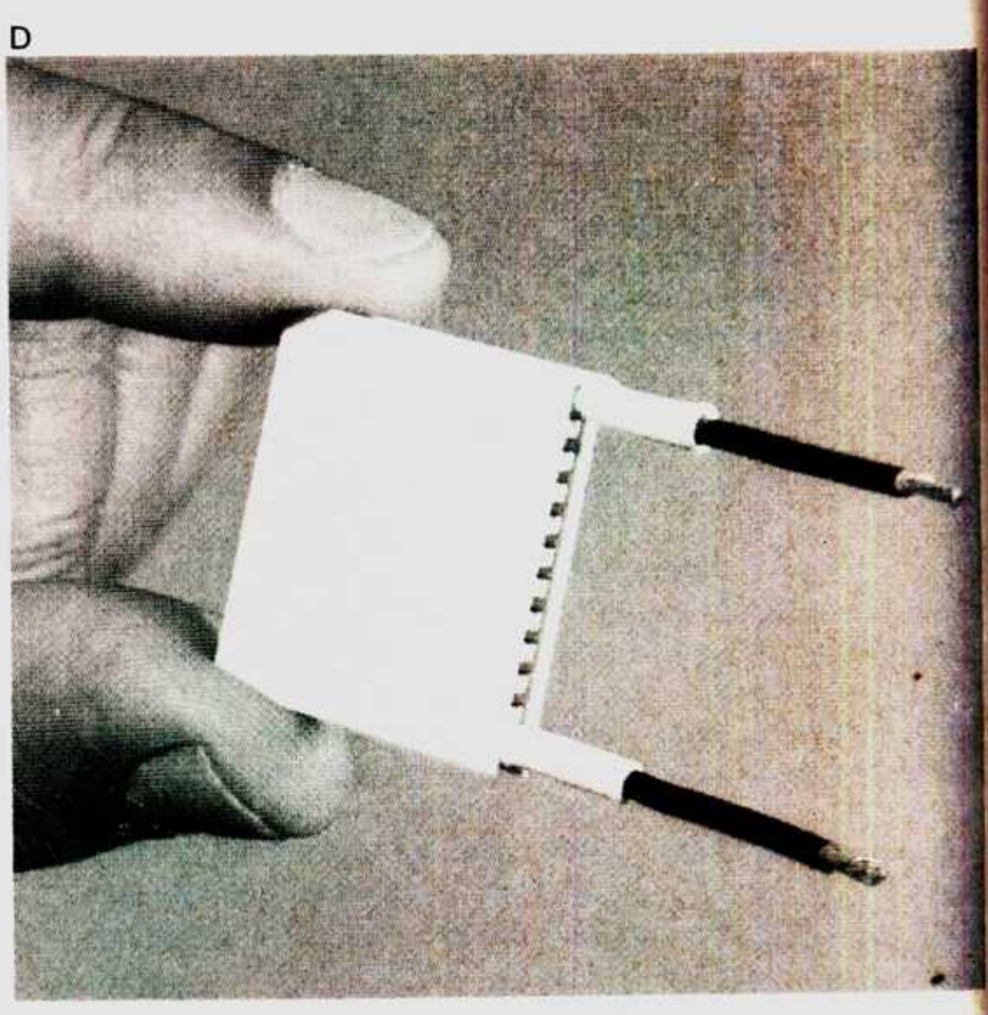




Figura 6. **Cuando se mantiene una diferencia de temperatura entre los extremos de un conductor, se observa una diferencia de potencial: se trata del efecto Seebeck. De igual manera, si se hace pasar una corriente eléctrica a través de un conductor, se absorbe o emite una cantidad de calor entre sus extremos: se trata del efecto descubierto por el relojero francés Peltier en 1834. Es inmediato ver dos elegantes aplicaciones a estos efectos: convertir directamente calor en electricidad por efecto Seebeck y utilizar el efecto Peltier para la refrigeración. En ambos casos, el termopar está formado por dos semiconductores de los tipos p y n, respectivamente unidos eléctrica y térmicamente por medio de un elemento metálico. Los otros extremos se mantienen a una temperatura constante. En el caso del generador termoeléctrico** (A) **se suministrará calor a la placa metálica y se recogerá una corriente en la resistencia eléctrica. Para la refrigeración** (B) **se hace circular una corriente eléctrica en el circuito y, para un sentido dado de la corriente, la placa metálica se enfría. El modelo de la primera fotografía** (C) **ha sido construido en el laboratorio del autor. Tiene un carácter didáctico, por ello sus dimensiones son «gigantescas» respecto a lo que actualmente se hace a nivel industrial** (D) **(módulo capaz para 70 uniones termoeléctricas fabricado por Borg Warner Thermoelectrics).**

la conductividad de red disminuye también con la temperatura, por lo que es de esperar un incremento adicional de la componente electrónica. Esto se ha visto confirmado recientemente por Bill Pratt y Ctirad Uher en la Michigan State University. Estos últimos han conseguido, por primera vez, medidas de este tipo hasta cinco centésimas de grados Kelvin.

**Cuando se usen anisotropía e inclusión**

Otro caso muy interesante es el del grafito. A bajas temperaturas, este material, que es también un semimetal, contiene sin embargo diez veces más electrones libres que el bismuto. A pesar de esto, su conductividad térmica es totalmente debida a los fonones, salvo a temperaturas muy bajas. Una de las características más notables del grafito es la acusada anisotropía de todas sus propiedades físicas que le confiere su estructura laminar. En el plano de una capa, las fuerzas interatómicas son cien veces más interesantes que en la dirección perpendicular. Esta anisotropía de las fuerzas interatómicas está siendo intensamente explotada en la actualidad para intercalar metales alcalinos o compuestos de los mismos entre los planos del grafito. Se obtiene así un incremento de la densidad electrónica de más de tres órdenes de magnitud, lo que se traduce en un aumento de la conductividad eléctrica de más de un orden de magnitud. Continuando los trabajos de Ubbelohde en el Imperial College, quien ha bautizado esta nueva familia de materiales como metales sintéticos, y de Hérold en Nancy, la investigación en este campo conoce actualmente un desarrollo prodigioso. Dejando de lado el interés fundamental de estos materiales bidimensionales, uno de los objetivos prácticos previstos sería la producción de materiales sintéticos que condujesen la electricidad tan bien o mejor que el cobre o la plata. Por otra parte, los conductores sintéticos tendrían las ventajas de ser más baratos, más ligeros y sobre todo no correrían el peligro de enrarecerse.

Los compuestos de inclusión del grafito podrían sustituir a los metales en un cierto número de aplicaciones de la conductividad eléctrica. ¿Ocurre lo mismo con la conducción térmica? La primera pregunta a plantearse es: ¿Cuál es el efecto de la inclusión sobre las propiedades térmicas? ¿La posible disminución de conductividad de red debida a la presencia de la inclusión sería compensada por la aparición de una conductividad electrónica?

En colaboración con el grupo de Millie Dresselhaus en el MIT, nuestro equipo en Louvain-la-Neuve se dedica a responder esta pregunta. Los primeros resultados obtenidos[10] en la dirección de los planos con una inclusión de $FeCl_3$ (cloruro férrico) muestran que cerca de la temperatura ambiente la conductividad térmica se reduce en más de un orden de magnitud con respecto a la del grafito puro aunque parece manifestarse una conductividad térmica electrónica relativamente importante. A temperaturas muy bajas (cerca de 4 K) únicamente contribuyen los electrones. En este estadio, sería interesante conocer lo que pasa con la conductividad en el sentido perpendicular a los planos ¿Será debida a los fonones como en el caso del grafito? En este caso, nos encontraríamos a bajas temperaturas con un caso único. En la dirección de los planos la conductividad térmica se realizaría esencialmente mediante electrones, mientras que en la dirección perpendicular se debería enteramente a los fonones. He aquí una hipótesis que sería interesante poder confirmar.

**Queda mucho por hacer antes de obtener mejores aislantes.**

Aunque, desde un punto de vista fundamental, los sólidos cristalinos como los metales y los aislantes tengan un comportamiento que la teoría explica globalmente, cuando nos apartamos de estos casos típicos quedan muchos puntos por aclarar, como por ejemplo en el caso del grafito. Creo que en el campo de una y dos dimensiones (compuestos por inclusión en grafito) queda mucho por hacer con respecto a la conductividad térmica. La actividad más intensa se refiere, sin embargo, a los materiales amorfos, donde la investigación sobre la conductividad térmica corre pareja con el progreso de los conocimientos sobre el estado no cristalino en general. Se investiga sobre la naturaleza exacta de las excitaciones de dos niveles, sobre la zona estacionaria y sobre la identidad de comportamiento de estos materiales independientemente de su composición.

En cuanto a las aplicaciones prácticas, el desarrollo de buenos aislantes térmicos, en un momento en que el problema del almacenamiento de energía ha llegado a ser crucial, se sitúa entre las preocupaciones prioritarias del momento (cuadro 1). En esta línea, el descubrimiento de malos conductores térmicos, pero buenos conductores eléctricos, podría desbloquear el desarrollo de convertidores directos de energía por efecto Seebeck o Peltier (fig. 6). En este dominio se ha registrado un ligero progreso en los últimos veinte años. Observemos que actualmente la sociedad Air Industrie, en Courbevoie, ha emprendido una importante actividad para desarrollar la climatización por efecto Peltier. Aunque los Estados Unidos dirigen sus esfuerzos hacia los dispositivos de pequeña potencia, los trabajos franceses están orientados hacia las grandes. Así, en la línea París-Estrasburgo, desde hace dos años, algunos viajeros de la SNCF deben su confort en las épocas calurosas al efecto Peltier.

En el campo del aislamiento térmico y de la conversión termoeléctrica, solamente se registraron progresos apreciables si el trabajo continuado e intenso va asociado al desarrollo de ideas nuevas y audaces. En el caso del aislamiento térmico no se trata de arañar unos pocos tantos por ciento, sino de ganar varios órdenes de magnitud. Muy probablemente, y esto no es una particularidad de este campo, cualquier innovación deberá pasar por la comprensión, el dominio y el uso inteligente de las cualidades microscópicas de la materia. El poder del ingeniero de materiales consistirá en ser capaz de predecir el comportamiento de los sistemas macroscópicos a partir de los conceptos cuánticos. Si después de haber conocido las edades de la piedra y el bronce, nuestra época es la del silicio, no nos extrañe que la era de los materiales sintéticos, aleaciones y compuestos exóticos, se haya empezado a fraguar. ■

## Para más información:


■ R. Berman, «Thermal conduction of solids», Clarendon Press, Oxford, 1976. Una obra completa, una exposición clara y precisa de los mecanismos fundamentales de la conductividad térmica de los sólidos.

■ Cada dos años se realiza en los Estados Unidos y el Canadá un congreso sobre la conductividad térmica; los textos de las comunicaciones se hacen públicos. El decimoséptimo tendrá lugar en Maryland en junio de 1981.

■ J.R. Drabble y H.J. Goldsmid, «Thermal conduction in semiconductors», Pergamon Press, Oxford, 1961. Es la primera obra moderna sobre los aspectos fundamentales de la conductividad térmica en los semiconductores.

■ J.E. Parrot y A.D. Stuckes, «Thermal conductivity of solids», Pion, Londres, 1975. Esta obra trata los aspectos fundamentales de los materiales cristalinos, los métodos de medida y las aplicaciones prácticas.

■ W.A. Philips, «Journal of non-crystalline solids», *31*, 267, 1978. Un artículo de revista sobre las propiedades de los sistemas amorfos con una visión general concisa de los modelos explicativos de la conductividad térmica.

■ R.P. Tye (Ed.), «Thermal conductivity», Academic Press, Londres, 1969. Sobre los distintos aspectos fundamentales y prácticos de la conductividad térmica.



(9) W.P. Pratt y C. Uher, *Phys. Lett., A68,* 74, 1978.

(10) Boxus y col., en curso de publicación; B. Poulaert, J. Heremans, J.P. Issi, I. Zabala, H. Marzurek y M.S. Dresselhaus, Est. Abst. Program Bierm 15 th Carbon Conf. Pittsburg, 1981 (en prensa.)

# Los japoneses, la ciencia y la tecnología

por Marc Dupuis

**Marc Dupuis** es en la actualidad profesor de química-física teórica en la Universidad París VI. Sus conocimientos sobre ciencia y técnica japonesa derivan de una primera estancia de tres años como investigador en la Universidad de Tokio; posteriormente trabajó como consejero científico en la embajada francesa en dicha ciudad durante un período de diez años. Consejero del ministerio de Industria, ha seguido visitando con frecuencia el Japón por razones de trabajo.

**■ No hace aún demasiados años, el europeo medio consideraba al Japón como un país que en el terreno científico sólo era capaz de imitar. Los tiempos han cambiado, y parece que ahora se tiende a caer en el extremo opuesto. No pocos creen ver en el Japón al país más futurista del planeta, y para ello esbozan un porvenir absolutamente dominado por la biotecnología, los robots y los microprocesadores.**

**■ Sea como fuere, lo cierto es que el Japón se ha aupado hasta muy altas cimas en todo lo referente a tecnologías de producción en masa. Pero no sólo se trata de desarrollar excelentes tecnologías de producción, sino que los productos obtenidos también le llevan a compartir, en toda una serie de ámbitos, plazas de honor con los países más avanzados. Así, por ejemplo, es opinión generalizada entre los especialistas que, una vez concluido el plan de desarrollo para producir circuitos integrados a gran escala (VLSI), que fue iniciado en 1976, el Japón comparte con Estados Unidos el liderazgo en este sofisticado sector punta de la investigación contemporánea.**

**■ Sin entrar aquí en un tedioso análisis sistemático de los principales terrenos en que se manifiesta su supremacía tecnológica, reseñemos que el Japón goza de una posición preeminente en sectores tan dispares como la siderurgia, la mecánica de precisión, la robótica, las comunicaciones ópticas, la biotecnología, la acuicultura, las construcciones antisísmicas o los transportes terrestres a altas velocidades. La mera lectura de esta enumeración, que en modo alguno pretende ser exhaustiva, nos da claro testimonio del alto nivel alcanzado por la tecnología japonesa en algunos terrenos, si bien perviven una serie de puntos débiles en zonas tan fundamentales hoy en día como las prospecciones petrolíferas submarinas y la aeronáutica o, en un tercer orden, se entremezclan debilidades y logros en ciertos dominios tecnológicos de primordial importancia: sirva de ejemplo constatar que los avances efectuados en el terreno de los circuitos de integración a gran escala no impiden la existencia de un notable retraso en los destinados a usos específicamente militares.**

**■ Por consiguiente, y dadas las anteriores premisas, se hace imprescindible plantear una pregunta que a buen seguro el lector ya se habrá formulado por cuenta propia. Aun cuando pueda considerarse el Japón actual como un país con una tecnología de primera línea, ¿puede afirmarse otro tanto en lo que a la ciencia respecta?**

■ La característica más sobresaliente que comparten los numerosísimos artículos sobre el Japón publicados durante los dos últimos años en Francia y en otros países de la Europa comunitaria es la ausencia en todos ellos de un encuadramiento histórico. Suele estudiarse el Japón como si su historia apenas acabara de comenzar, en muchos casos como si arrancara justamente de la Segunda Guerra mundial. Sin embargo, no pocos de los rasgos más específicos del Japón actual tan sólo son auténticamente explicables y quedan dotados de significación precisa al enfocarlos desde una perspectiva histórica.

Como fácilmente puede suponerse, en sus comienzos la ciencia japonesa era la ciencia importada de la vecina China. Si bien ciertos conocimientos y técnicas es muy probable que fueran implantados en el Japón de forma individual por inmigrantes llegados a sus tierras en los siglos IV y V de nuestra era, el documento más antiguo que nos habla de iniciativas oficiales en este terreno data del año 533. En él, el emperador del Japón solicita a la coreana corte de Paekche el envío de especialistas en adivinación, medicina y ciencia del calendario. Así se inician unas relaciones de intercambio continuadas; a partir del siglo VII Japón organiza por cuenta propia una serie de misiones de estudio en tierras chinas, contactos que quedarán interrumpidos en 894 por un decreto imperial. Esta primera ola de influencia china vino seguida de una pérdida casi total de relaciones entre ambos países durante cinco siglos poco más o menos. Cuando a principios del siglo XV se reanudan las relaciones comerciales oficialmente, el Japón recupera el interés por la ciencia china a través de las innovaciones traídas por la renovación de contactos. Y así seguirá hasta mediados del siglo XIX, en que la ciencia de inspiración china cede la plaza a la ciencia occidental. Debe señalarse que Japón ya había tenido un primer contacto con la ciencia occidental en 1543, cuando un barco en el que viajaban portugueses con armas de fuego arribó a Tanegashima, en el sur del Japón.

A lo largo de tan dilatado período de influencia china, aparecen ya ciertos rasgos específicos de la vía evolutiva japonesa que, inversamente a lo sucedido en China, iban a facilitar su fusión ulterior con la ciencia de corte occidental. Donde mejor pueden observarse tales rasgos específicos es en el terreno de la astronomía, ámbito privilegiado de la actividad científica japonesa durante los siglos que nos ocupan. Tal como señala el historiador Nakayama Shigeru,[1] la astronomía china era una ciencia exacta que buscaba regularidades, mientras que, por el contrario, el objetivo de los astrónomos japoneses no era detectar regularidades en la naturaleza sino predecir acontecimientos futuros a fin de tomar las previsiones eventualmente necesarias ante los mismos. Por ejemplo, un eclipse podía contemplarse como un signo celeste que conllevara la puesta en entredicho de las virtudes del emperador, lo que exigía entonces la práctica de ceremoniales de exorcismo para paliar la situación. Como consecuencia de este punto de vista, la aten-

* A lo largo de todo el artículo los nombres propios se ofrecen de acuerdo con la tradición japonesa, es decir, ocupando el primer lugar el nombre de familia o apellido.

A

B

(1) Nakayama Shigeru, «A history of japanese astronomy», Harvard University Press, 1969. Nuestro análisis de las diferencias entre las actitudes japonesa y china frente a la ciencia se inspira en este trabajo.

Figura 1. **Los japoneses no sólo son exportadores de instrumental electrónico, sino también sus primeros consumidores** (foto A). **Las novedades técnicas hallan general aceptación en el Japón y se difunden con gran rapidez. El paciente instalado bajo el aparato de rayos X del hospital de Teishin que aparece en la foto B no es examinado por el técnico que aparece en primer plano, sino por un especialista que, desde Tokio, interroga al enfermo y dirige el aparato de acuerdo con las imágenes radioscópicas que recibe sobre una pantalla.** (Fotografías de la Fundación del Japón.)

**La administración informa, coordina, estimula, pero nunca decide por sí sola.**

| | gastos totales en investigación (DIRD) en miles de millones de pesetas | | | parte de la investigación en la producción interior bruta en % | | | parte de las empresas y del Estado en la ejecución de la investigación | | parte de las empresas y del Estado en el financiamiento de la investigación | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1975 | 1977 | 1978 | 1975 | 1977 | 1978 | empresas | administración, universidades, instituciones sin ánimo lucrativo | empresas | administración, universidades, instituciones sin ánimo de lucro |
| EE.UU. | 2.676 | 3.740 | 3.791 | 2,44 | 2,40 | 2,37 | 67 | 33 | 44 | 56 |
| Japón | 725 | 118 | 1.372 | 1,94 | 1,92 | 1,93 | 58 | 42 | 59 | 41 |
| Alemania | 680 | 926 | 1.062 | 2,23 | 2,15 | 2,16 | 65 | 35 | 53 | 47 |
| Francia | 445 | 565 | 638 | 1,80 | 1,77 | 1,76 | 60 | 40 | 42 | 58 |

Figura 2. **Los gastos de los japoneses en investigación representan hoy en día más del doble de las inversiones francesas y algo más de un tercio de las norteamericanas. El porcentaje del producto interior bruto destinado a la investigación es superior al de Francia, dato que adquiere su pleno valor si se tiene en cuenta que se trata esencialmente de investigación civil. Mientras que en el Japón la investigación militar es prácticamente inexistente, en Francia representa alrededor del 40 % del presupuesto total dedicado a investigación. En Japón, a diferencia de los demás países, las empresas privadas soportan inversiones en financiamiento y ejecución de proyectos de investigación prácticamente equivalentes a las que destina el Estado, dato que refleja la debilidad de las transferencias que desde este último van hacia las industrias bajo forma de subvenciones.** (Fuente D.G.R.S.T. Las cifras de 1978 son estimativas.)

ción de los astrónomos japoneses quedaba primordialmente solicitada por los fenómenos imprevistos y las irregularidades; se trataba de una astronomía esencialmente *utilitaria*, muy próxima a la astrología, hasta el punto de que los astrónomos japoneses no solían guardar registro de aspectos regulares predecibles. Por otro lado, en China la ciencia se hallaba estrechamente vinculada a la política. El calendario era un monopolio estatal y traía consigo la necesidad de crear un sistema oficial de cálculo. El confucianismo, base del sistema político chino y filosofía oficial, era exportado junto con la astronomía oficial a fin de mantener la soberanía de la cultura china sobre países próximos o satelizados. Por el contrario, ninguna razón política justificaba tal mantenimiento de la ortodoxia en el caso del Japón. Los daimyo[2] gozaban de amplios poderes y algunos incluso tenían su propio calendario, como por ejemplo el de Satsuma. Mientras los astrónomos chinos se movían dentro de la jerarquía de los funcionarios, los japoneses eran considerados como simples técnicos. De hecho, la libertad de elegir entre diversos modelos teóricos era para Japón algo tan fundamental como lo pudiera ser la persecución de un principio unitario en China. Japón no tenía pretensiones expansionistas ni de exportación cultural, y sus astrónomos estaban lejos de creer en la posibilidad de una aceptación universal de sus teorías. En realidad, hasta bien entrado el siglo XX Japón jamás creyó poder participar en el desarrollo general del conocimiento científico.

(2) Gobernadores provinciales (M. Vie, «Histoire du Japon des origines à Meiji», PUF).

### Japón estaba en excelentes condiciones para beneficiarse de la ciencia occidental

Con las condiciones reseñadas, los japoneses no tuvieron problemas mayores para adaptarse a la ciencia europea y dejar de lado a la china cuando aquélla comenzó a ejercer su influencia sobre Japón. Por el contrario, el encuentro entre China y la ciencia occidental adquiere caracteres dramáticos. Aceptar la ciencia europea equivalía a rechazar los valores chinos tradicionales, mientras que rechazarla les dejaba indefensos frente a las amenazas colonizadoras de las grandes potencias occidentales. Cuando planteamos la anterior situación alternativa no se hace con ánimo simplificador, sino teniendo muy en cuenta la situación social concreta de la China de cuatro siglos atrás; por lo demás, para captar el problema bastaría con recordar los cambios que durante las últimas décadas ha ido sufriendo su política de desarrollo científico y tecnológico al socaire de mutaciones ideológicas. Sea como fuere, lo cierto es que durante los siglos XVI y XVII se produce ya un primer cambio de rumbo al que Japón se incorpora de buen grado mientras China queda al margen del mismo.

Tras unos contactos iniciales con la ciencia occidental a través de los jesuitas, en 1641 se inicia un rígido y estricto aislamiento del Japón que durará unos doscientos años. El gobierno, temeroso de una desestabilización política, decidió cerrar el país casi herméticamente a todo contacto con el extranjero, dejando como único resquicio el puerto de Nagasaki, en el que bajo estricto control de las autoridades se permitía comerciar única y exclusivamente a holandeses y japoneses (de hecho, esta situación había dado comienzo en 1612). Gracias a esta aspillera, en el caso de la ciencia el aislamiento no fue, ni con mucho, eficaz. Por ejemplo, bajo el mandato de Shogun Yoshimune, que gobernó en Japón entre 1716 y 1745, el estudio del «saber holandés» se vio estimulado por razones análogas a las que habían potenciado la importación de la astrología china, a saber, por razones de utilidad. En el caso de la astronomía, era imprescindible revisar el calendario y dar-

le precisión de cara a la agricultura, era necesario avanzar en los saberes médicos. Asimismo, se trataba de aprovechar los conocimientos extranjeros para consolidar desde una perspectiva económica el régimen feudal japonés, y cuando comenzaron a agudizarse las amenazas exteriores y los síntomas de decadencia interna, comenzaron a potenciarse los estudios con fines militares. Buena parte de los hombres que en esta época se iniciaron en los estudios científicos y técnicos eran antiguos samurais, quienes tras la toma del poder por parte de los Tokugawa y la ulterior pacificación del país, se vieron obligados a reconvertir su oficio de armas en tareas de administración o educación.

Los samurais que alcanzaron los cargos más relevantes eran los que mostraban un mayor talento para la gestión, la economía y las finanzas. Comenzaron a crearse escuelas en todo el país, regidas por viejos samurais convertidos en educadores, y las gentes más pobres se deshacían en sacrificios para enviar a ellas a sus hijos ya que la posesión de conocimientos se había convertido en sinónimo de posición social. Así pues, aunque la cantidad de ciencia occidental asimilada durante el período de aislamiento no fuese excesiva, lo cierto y verdaderamente importante es que el Japón supo utilizar dicho aislamiento para elevar el nivel educativo general de su población. Hacia 1850 se inicia una apertura que conlleva la importación de ciencias y técnicas extranjeras, fenómeno que se consolidará y adquirirá un carácter masivo en 1868 con la llegada al poder de la dinastía Meiji. El Japón fue el único país oriental perfectamente adaptado, desde mediados del siglo XIX, para absorber con rapidez los avances científicos y tecnológicos occidentales, y a decir verdad, se trata de un mérito nada despreciable que añadir a su activo cultural.

Figura 3. **Seki Takakazu (1642-1708), uno de los más grandes matemáticos de la historia, es el más preclaro exponente de una larga tradición de investigación científica teórica. En Japón, junto a la técnica «útil», nunca han faltado hombres dedicados a esta actividad «gratuita».** (Doc. Fundation del Japón.)

### Un conocimiento útil e indispensable para la independencia nacional

El primer rasgo específico que pone de manifiesto este esbozo a vuelapluma de la historia científica del Japón es que el conocimiento científico, importado de otros países en oleadas sucesivas, fue siempre y ante todo visto por los japoneses como un conocimiento *útil*. De ahí la orientación social de numerosas iniciativas de investigación y desarrollo, como, por ejemplo, la puesta a punto de servicios telemáticos para uso general de la población desde 1964. Esta orientación social combinada con un alto nivel educativo de la población provoca una difusión de las tecnologías, no sólo natural y suave, sino también muy rápida (V. fig. 1).

Por otro lado, el conocimiento se contempla como algo indispensable para mantener la independencia nacional, como ha ocurrido durante la época Meiji, o, tras la conclusión de la Segunda Guerra mundial, como elemento indispensable para garantizar la supervivencia económica del país. La innovación es una preocupación primordial entre los países occidentales industrializados, esencialmente por la gran competitividad generada entre las diferentes potencias industriales, y muy en especial por la industria japonesa. Pero en el mismo Japón la preocupación innovadora es también elemento motriz desde hace ya más de un siglo por razones análogas de independencia militar o económica, y preciso es reseñar que en Europa no existe conciencia exacta de hasta qué punto llega a ser intensa la tensión innovadora que impregna a la sociedad japonesa. El país se halla sumergido en una auténtica alerta tecnológica permanente, al acecho de todo progreso, descubrimiento o innovación que aparezca en cualquier lugar del mundo o sea susceptible de incorporación a su propia tecnología.

Una de las cuestiones que suele plantearse a este respecto es la de saber cómo Japón, tras el desenlace de la Segunda Guerra mundial, ha sabido efectuar a tiempo las elecciones tecnológicas adecuadas, mostrar tan alto grado de eficacia en la prosecución de investi-

**El Japón no se limita al mero calco tecnológico; posee una tradición científica propia.**

gaciones y construir las industrias capaces de fabricar tan sofisticados productos. Para hallar explicación a tales extremos es imprescindible tomar en cuenta una serie de caracteres específicos de la sociedad japonesa.

No existe en Japón ningún organismo con poder de decisión sobre el conjunto de la política científica de investigación y desarrollo. En efecto, las competencias en dicho terreno quedan repartidas entre los diferentes ministerios afectados, y cada departamento ministerial es algo así como amo y señor para tomar decisiones sobre cada uno de los sectores bajo su tutela. Dentro de esta compartimentación de responsabilidades, la responsabilidad sobre la investigación industrial recae en el ministerio de Industria y Comercio Exterior (MITI). Un estrecho y permanente contacto entre la industria japonesa y el MITI permite establecer las elecciones industriales y tecnológicas, los programas de investigación, tanto fundamental como aplicada, y el grado de desarrollo preciso para alcanzar los objetivos prefijados, así como la distribución de cargas financieras entre el Estado y las industrias privadas para la ejecución de los programas en curso. Tal forma de proceder garantiza una cierta eficacia en los resultados, pues la conjunción de un ministerio potente y una industria dinámica permite destinar toda la atención y concentrar los medios precisos durante el tiempo necesario en el proceso que llevará desde la investigación fundamental hasta la realización práctica de sus descubrimientos. Desde el punto de vista de las aplicaciones, dado que vienen definidas desde los inicios de la investigación, es prácticamente imposible que se llegue a un resultado carente de utilidad.

### Ante todo, estar informado

Para que las decisiones electivas en el terreno industrial y tecnológico sean buenas, es imprescindible ante todo estar muy bien informado. Los principales responsables de la recolección y análisis de información en Japón son la industria y las asociaciones técnicas e industriales, encargadas de organizar innumerables grupos de trabajo o encargar estudios a los numerosos «think tanks» existentes en el país; el anuario de «think tanks» japoneses censa no menos de ciento sesenta nombres. Dichos *think tanks* son en su mayor parte organismos privados encargados de efectuar, previo contrato, los más diversos estudios sobre economía, prospección tecnológica e industrial, sociología, etc. Los hay formados por un reducido número de empleados, pero también encontramos otros notablemente complejos, como es el caso del Instituto de investigaciones Nomura, el mayor de Japón, donde trabajan más de quinientos investigadores. Qué duda cabe, la calidad de este tipo de organismos es sumamente variable, y su mayor parte realiza una tarea más bien recolectora de informaciones que no de análisis creativo. Sin embargo, dicha recolección de datos es exhaustiva, y las más importantes industrias japonesas se encargan de dar soporte financiero a los principales *think tanks* del país. Ninguna gran sociedad industrial japonesa quiere correr el riesgo de hallarse peor informada que sus competidoras.

Por otro lado, la administración posee sus propios instrumentos, ya sean oficiales u oficiosos. En el caso del MITI, el organismo oficial es el Consejo de tecnologías industriales, que integra no menos de nueve comités y treinta y dos subcomités encargados de reflexionar sobre la política de investigación y tecnología industriales; los miembros del Consejo reciben remuneración para desempeñar estas tareas. Paralelamente, existen numerosos equipos de estudio oficiosos agregados a las direcciones generales del ministerio. Estos equipos oficiosos desempeñan un papel aún más importante que los oficiales en el desarrollo tecnológico japonés. Sus miembros no reciben remuneración alguna, pero los industriales no quisieran por nada del mundo estar ausentes de dichas entidades y dejar de tener acceso a la información que en ellas se atesora. Los grupos de estudio que nos ocupan, lo mismo que los consejos oficiales, están compuestos por especialistas de las más diversas procedencias (universidad, administración, industria, prensa, asociaciones de consumidores) y son escogidos por las direcciones generales del MITI. Una dirección técnica ministerial (y existen alrededor de veinticinco) suele tener adscritos de uno a tres equipos de estudios oficiosos. Sus miembros, así como los de los grupos de estudio oficiales, pertenecen también a los grupos de trabajo de las asociaciones profesionales, y de ahí que sea incesante y masivo el intercambio de informaciones entre administración e industria.

### La verdadera función del MITI

Largas discusiones entre el ministerio y los múltiples consejos reseñados decantan las elecciones, los programas de investigación y desarrollo que éstas exigirán y los industriales que se encargarán de llevarlos a la práctica (excepción hecha de la parte, por lo general reducida, que se confía a los laboratorios estatales). Cuando se alcanza un consenso generalizado, y tras un examen desde la perspectiva de la coordinación ministerial, el Consejo de ciencia y tecnología remite los proyectos definitivos al Ministerio de Hacienda. El MITI jamás defenderá ante Hacienda un determinado proyecto sin saber de antemano qué inversión está dispuesta a efectuar la industria privada. De hecho, en el caso de proyectos francamente prometedores a corto y medio plazo, no es raro que las diferentes compañías en competencia hayan emprendido investigaciones preliminares por su propia cuenta y riesgo antes de que exista una decisión gubernamental para estar en las mejores condiciones competitivas en el momento de la distribución final de tareas. En el caso de proyectos potencialmente importantes pero cuya rentabilidad a corto plazo no está clara, la política general que siguen las sociedades industriales japonesas es la de participar en los proyectos preliminares para evitar que las comunidades científica e industrial, e incluso el público en general, puedan llegar a creer que han sido dejados de lado en razón de su incapacidad para llevarlos a buen puerto. Indudablemente, las grandes firmas japonesas se muestran muy susceptibles ante su imagen de marca.

En Europa se halla bastante generalizada la creencia de que el MITI es el motor principal y el director todopoderoso de la cadena investigación-desarrollo-producción industrial. Dicha apreciación lleva al error de subestimar el importantísimo papel que desempeña la industria japonesa en la dinámica global del desarrollo tecno-científico, así como a malinterpretar la auténtica función que juega el MITI en este entramado. El papel del MITI, por lo demás fundamental, es el de hacer circular la información, esbozar una estrategia de conjunto, poner orden en la actividad a menudo efervescente de empresas en reñida competencia, conseguir la federación de algunas de ellas para la puesta en práctica de aquellos proyectos que sobrepasan las capacidades de cualquier entidad privada en solitario, y, por último, aportar el sostén financiero del Estado en los casos en que así se crea imprescindible. En cuanto a este último punto, es necesario indicar que la tendencia del Estado japonés jamás ha sido la de asumir un carácter ejecutivo en las actividades relativas a investigación y desarrollo (salvo durante la Segunda Guerra mundial). Desde la llegada al poder de la dinastía Meiji, la política tradicional del gobierno ha sido la de transferir la actividad tecnológica a la industria privada y hacer de ella su centro natural (V. fig. 2).

Al evocar el papel federador del MITI, nos topamos con una de las debilidades fundamentales del sistema japonés de investigación y desarrollo. Cuando la

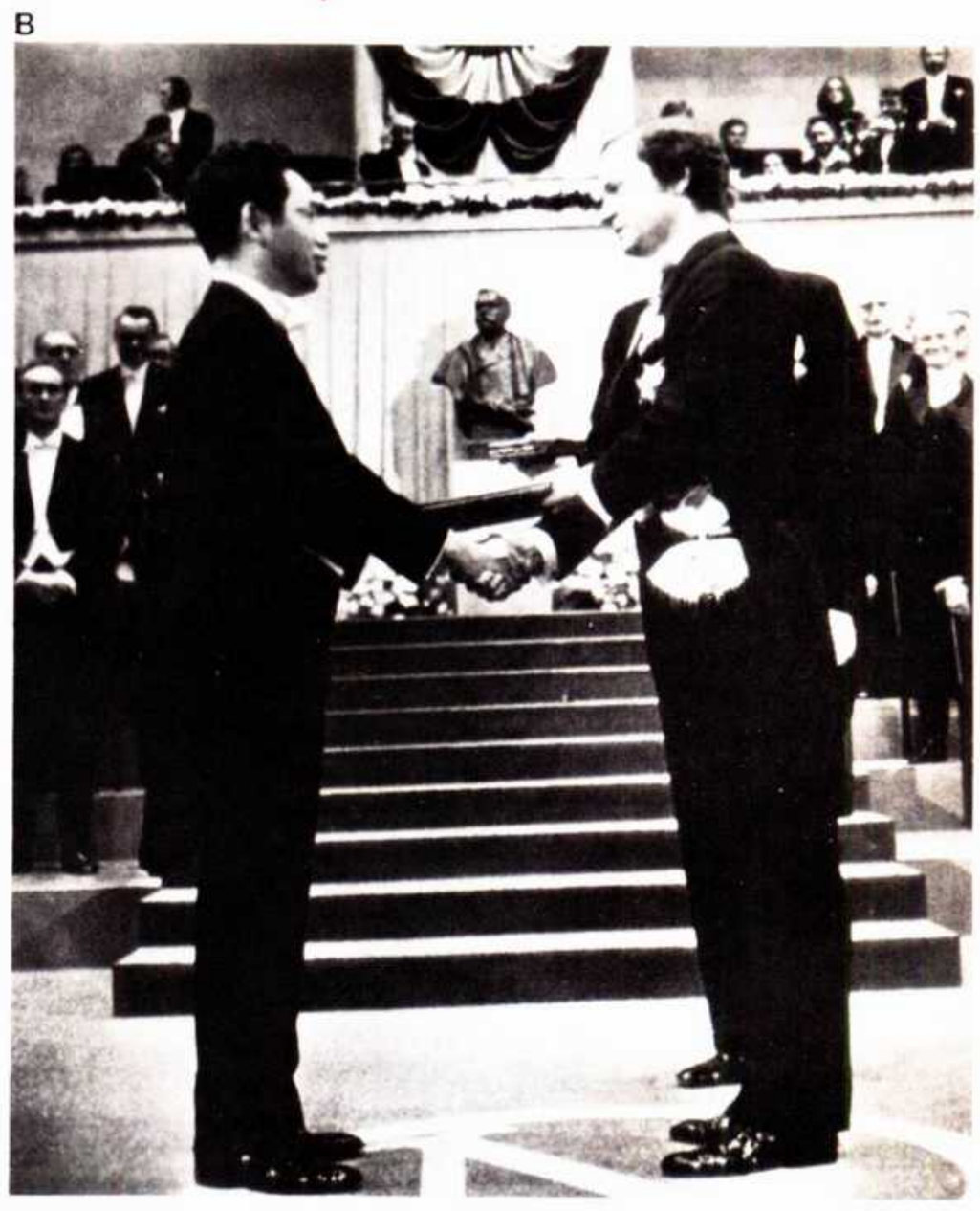



Figura 4. **Tomonaga Shinichiro** (foto A), **premio Nobel de Física en 1965 y hombre muy sensible a los aspectos estéticos de la física teórica, fue un perfecto representante de la tradición científica japonesa. Japón sólo ha conseguido hasta ahora tres premios Nobel y dos medallas Fields, pero no debe olvidarse que nos hallamos en la cuarta generación tras el advenimiento de los Meiji y que buena parte de las mentes más brillantes han dedicado sus esfuerzos a la industria. La foto** B **nos muestra al doctor Leona Ezaki recibiendo el premio Nobel de Física en 1973.** (Fotografías Fundación del Japón.)

magnitud de un determinado proyecto no sobrepasa las posibilidades de un grupo —sea éste un laboratorio, un instituto de investigación oficial o el de una gran firma industrial privada—, su organización no presenta mayores problemas. Por el contrario, todo proyecto que no pueda ser llevado a la práctica por una sola entidad exige la presencia indudable de un coordinador que ensamble intereses y obligaciones. Para exponerlo en otros términos, la conciencia de grupo y la competitividad son demasiado fuertes para que empresas distintas lleguen a un acuerdo directo sin acudir a un mediador estatal. De ahí que, muy a menudo, la organización de la investigación y el desarrollo en Japón presenten el aspecto de una estructura localmente perfecta y, al mismo tiempo, llena de imperfecciones cuando se la enfoca desde una perspectiva global: algo así como una transposición de la imagen urbanística de las actuales ciudades japonesas.

### La duplicación de tareas no es algo grave

La imperfección más frecuente de la investigación japonesa, al menos a los ojos del observador occidental, es la duplicación, o incluso la multiplicación, de trabajos entre organismos concurrentes. Mientras en Europa la definición de la estructura ideal para el conjunto del país se considera de primordial importancia, y de acuerdo con este enfoque son muchas las energías derrochadas constantemente en precisarla y redefinirla, la cuestión parece contar poquísimo en los planteamientos japoneses. Por contra, el interés se centra con mucha mayor intensidad en la competitividad y en consideraciones de orden humano. Se considera primordial la explotación al máximo de las capacidades humanas, y de ahí que no sean raras las duplicidades, no sólo a escala nacional, sino incluso dentro de un mismo grupo de trabajo. Dentro de una atmósfera competitiva no hay por qué contemplarlas como un factor forzosamente negativo. Por otro lado, en una sociedad tan cuidadosa con las formas, se hace prácticamente impensable que cualquier especialista de prestigio en su campo sea apartado para dejar su lugar a otro más brillante —la armonía del equipo prima por encima de todo— o que por razones de planificación se pongan trabas a un equipo o laboratorio para el estudio de cualquier nuevo proyecto; en un país en pos de la novedad, toda innovación provoca tales apasionamientos que es impensable el establecimiento de limitaciones a cualquier iniciativa.

Un ejemplo típico de duplicidad que resultaría inverosímil en Europa nos lo ofrece la forma en que la compañía telefónica y telegráfica decidió a comienzos de la década de los setenta desarrollar el proyecto de un gran ordenador para detallar las fracciones de tiempo invertido. En lugar de confiar este trabajo a la firma que según su criterio ofreciera mejores garantías, prefirió repartir el crédito entre tres de sus grandes proveedores habituales, a saber, la Nippon Denki (NEC), Fujitu e Hitachi, y solicitó a cada una de dichas grandes empresas que desarrollara una máquina con su propia plantilla de investigadores. Además de los hipotéticos beneficios que pudieran desprenderse de la emulación entre las tres grandes empresas, se trataba también de no deteriorar las buenas relaciones del Estado con todas y cada una de ellas. El resultado fue que, en el momento de entregar los prototipos al laboratorio central, ¡las tres compañías se disputaban los ascensores para instalar en las tres plantas que se les habían reservado las cónsolas de tres máquinas de características extraordinariamente similares!

**Entre la universidad y la industria funciona una compleja red de relaciones de maestro a alumno, y de los ex alumnos entre sí, así como entre las múltiples sociedades científicas.**

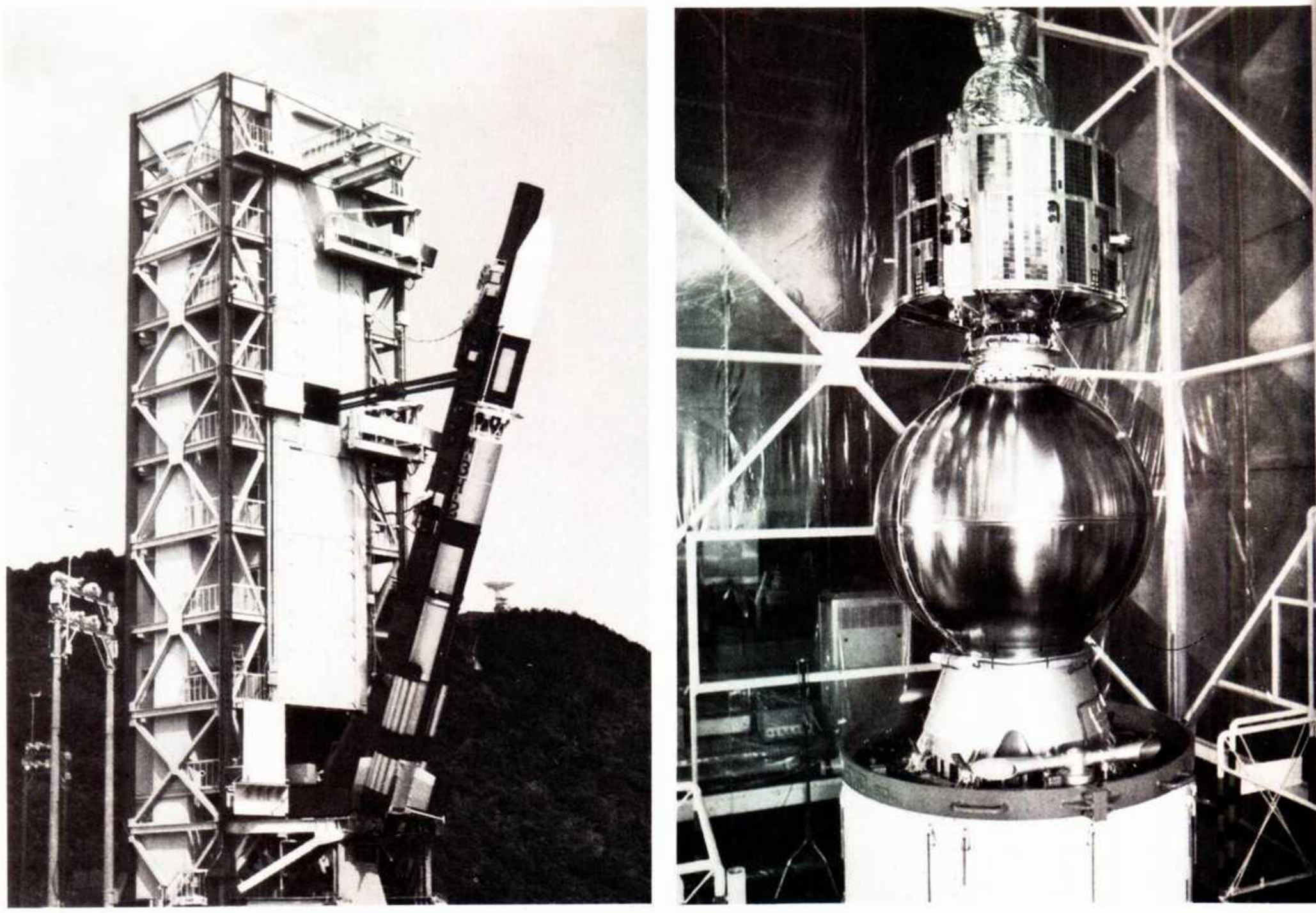


Figura 5. **La investigación espacial no es una actividad punta en Japón. No obstante, este cohete M-3H-2 y este satélite científico, bautizado con el nombre de Kyokko, tienen la originalidad de haber sido proyectados y lanzados al espacio por... una universidad (Instituto de Ciencias Aeronáuticas y del Espacio, Universidad de Tokio). Sirven a la perfección para ilustrar la existencia de una investigación universitaria activa que no duda en pasar de la investigación fundamental a sus aplicaciones.** (Fotografías Fundación del Japón.)

### Una tradición de ciencia «gratuita»

Ocupémonos ahora de la investigación fundamental. No es raro toparse con la afirmación, incluso en publicaciones reputadas de serias e informadas, de que Japón no lleva a cabo investigación fundamental y se limita a industrializar los descubrimientos efectuados por otros. He aquí una afirmación totalmente inexacta. Aun cuando el conocimiento científico haya sido contemplado desde siempre en Japón como algo intrínsecamente útil, existe una veta antiquísima de interés por la ciencia pura. Tal corriente emerge a la superficie mucho antes de la masiva importación de conocimientos científicos desencadenada a partir de 1868 con la formación, a comienzos del siglo XVII, de una escuela japonesa de matemáticas *(Wasan)*, cuyo representante más ilustre fue Seki Takakazu (1642-1708), a quien los historiadores de las ciencias no dudan en colocar entre los más grandes matemáticos de todos los tiempos (V. fig. 3). En efecto, Seki introdujo las notaciones algebraicas, inventó los determinantes para resolver sistemas de ecuaciones lineales, desarrolló un método de resolución para ecuaciones de grado superior a 2, obtuvo valores muy aproximados del número $\pi$ manipulando series de orden infinito, etc. El *Wasan*, más que una ciencia, era una especie de arte: un matemático publicaba un libro y planteaba en él una serie de problemas; otro matemático los resolvía y planteaba otros nuevos en su obra; y así se procedía sucesivamente.

En este contexto, cabe reseñar la singularidad de que cuanto más escasas eran las aplicaciones prácticas del problema planteado más apreciada era su resolución. Se trata de otro de los caracteres específicos de la actitud japonesa ante la ciencia que aún puede observarse hoy en día, si bien de forma bastante más diluida. Y se le observa bajo dos tendencias. Una primera, según la cual los científicos japoneses que se interesan por la ciencia pura muestran muy escaso interés por sus aplicaciones: su interés reside en el cultivo de la ciencia por la ciencia. De acuerdo con la segunda, no pocos científicos pulimentan ciertos trabajos en ámbitos especializados sin el menor intento de enmarcarlos en un esquema más general. El comportamiento de estos últimos recuerda el de determinados artistas y, sin la menor duda, los métodos de trabajo propios de los matemáticos del siglo XVII. Algunos científicos poseen a un mismo tiempo el don de la creatividad y la sensibilidad del artista, y saben además integrar sus trabajos en las grandes corrientes científicas de su época; son hombres que llegan a manifestarse como eminentes sabios con un gran interés por los aspectos estéticos del conocimiento científico, indudablemente derivado del interés generalizado por la estética que muestra el pueblo japonés. Un ejemplo prototípico sería el físico Tomonaga, premio Nobel, hombre sumamente sensible a la belleza formal dentro de la física teórica (Véase fig. 4).

La existencia paralela de dos actitudes tan diferentes frente a la ciencia —la utilitaria y la no-utilitaria— tiene una buena razón histórica. Durante la restauración impulsada por los Meiji,

los hombres que escogieron como oficio la ingeniería y la ciencia no pertenecían a un mismo grupo. Desde un primer momento, cierta parte de la élite japonesa se percató de que no bastaba con importar tecnología, sino que también era indispensable, para alcanzar un grado de desarrollo similar al de las potencias occidentales, poseer un buen dominio de la ciencia pura. El gobierno, por su parte, sintió la urgencia de instituir una universidad de corte occidental para dar al Japón los atributos de un Estado moderno. Y así nace la universidad de Tokio en 1877. La universidad japonesa ha ido desarrollándose gradualmente, y es muy importante no olvidar que el nivel alcanzado hoy en día por la investigación fundamental japonesa no es el resultado de una ascensión súbita y reciente, sino de una progresión lenta, en la que la Segunda Guerra mundial marcó una indudable pausa. Por ejemplo, y se trata de algo muy poco conocido, el físico Nagaoka Hantaro fue el primero en postular y estudiar, en 1903, un modelo atómico constituido por un núcleo positivo rodeado de electrones negativos. Poco después, Honda Kotaro realizó una serie de excelentes trabajos sobre magnetismo y física de los metales. Nishina, tras una estancia en Dinamarca al lado de Niels Bohr, fue el introductor de la física moderna en Japón; corría el año 1925. En vísperas de la Segunda Guerra mundial el nivel de la física japonesa no era muy distinto al de la europea, sobre todo gracias a la tarea del célebre Instituto de investigación física y química (Rikagakukenkyusho o Riken), el equivalente japonés a lo que representaba para la Alemania de la época el Kaiser Wilhelm Institute berlinés.

Actualmente, más de la mitad del presupuesto estatal para la investigación y desarrollo queda absorbido por la investigación universitaria: 772,8 mil millones de yens, es decir, alrededor de los 270 000 millones de pesetas en 1980. En 1978, las proporciones del presupuesto universitario dedicadas a investigación fundamental, investigación aplicada y desarrollo fueron, respectivamente, el 57,3, el 37,3 y el 5,4 %. Queda pues bien explícito, cuando menos, el esfuerzo estatal en favor de la investigación fundamental.

### ¿Dónde está la investigación japonesa?

¿Cuál es la calidad de sus resultados? No es nada fácil emitir un juicio de valor sobre el conjunto de la investigación fundamental de un país, y en cualquier caso se hace imprescindible definir previamente los criterios escogidos para efectuarlo. Con toda seguridad, ciertos críticos se apresurarán a señalar que Japón ha recibido tan sólo tres premios Nobel (Yukawa, Tomonaga y Esaki) y dos medallas Fields (Kodaira e Hironaka). No obstante, no cabe olvidar que el premio Nobel suele consagrar trabajos nada recientes, y que el tema que nos interesa es establecer el nivel *actual* de la investigación fundamental japonesa. Parece lícito sostener, tras confrontar los criterios del autor con los de un cierto número de miembros de la comunidad científica francesa, que existe un cierto número de científicos japoneses brillantísimos repartidos en los más diversos ámbitos, y que, en su conjunto, la ciencia japonesa posee en buen número de campos un nivel que le permite codearse internacionalmente con los países más avanzados. Qué duda cabe, sigue presentando puntos débiles y lagunas, pero en contrapartida existen ciertos dominios en los que el Japón ocupa una posición de primera línea. Son buenos ejemplos, sin pretensiones de exhaustividad, la teoría de las probabilidades, la física estadística, la física de los metales, la difracción electrónica, la química de polímeros complejos y la microbiología.

Si se intenta evaluar el nivel general de la ciencia japonesa por comparación con el de otros grandes países científicos, es necesario tener muy presente que el esfuerzo tecnológico ha arrastrado, y continúa haciéndolo, a buen número de las mentes mejor dotadas. En efecto, resulta significativo observar que son muchos más los estudiantes que se inclinan por la tecnología que por las ciencias puras. A escala nacional, los porcentajes respectivos son el 20 % y el 3 %, porcentajes que se siguen manteniendo a nivel de élite, como lo demuestran los valores obtenidos para tales variables en la Universidad de Tokio, a saber, 25 % y 8 %. La alternativa que se plantea el estudiante japonés no es tanto la de elegir entre investigación fundamental e investigación industrial, sino la de elegir entre convertirse o no en profesor. Por un lado, la investigación fundamental no está revestida del carisma aristocrático que suele caracterizarla en Francia, pues la enseñanza de las ciencias que se ofrece en la escuela primaria y en el instituto no predisponen al estudiante a verla como tal. Por otra, si bien el profesor universitario mantiene un rango elevado dentro de la jerarquía social, la prosperidad económica de estos últimos años realza el prestigio de las grandes firmas industriales y atrae a ellas a buen número de los mejor dotados.

Recapitulando, parece que el desarrollo de la investigación fundamental en el Japón depende, lo mismo que en Occidente, de la existencia de hombres capaces de crear núcleos de atracción, que como es lógico aparecen y desaparecen de forma fluctuante. Desde tal perspectiva, Japón tiene la desventaja de haberse incorporado a la carrera con retraso respecto a los países occidentales, ya que en estos momentos apenas está alcanzando su madurez la cuarta generación de científicos modernos.

¿Qué relaciones existen entre la investigación universitaria y la industria? Ante todo debe tenerse en cuenta que la compartimentación sectorial de competencias presenta, como mínimo, un par de ventajas sustanciales. La primera es que incluso en la hipótesis de situación económica problemática, los créditos destinados a la investigación universitaria no se ven reducidos con respecto a los que financian la investigación industrial. La reducción de los créditos concedidos a la investigación universitaria conllevaría una disminución del peso del ministerio de Educación con respecto al MITI, algo que en el contexto sociológico japonés se torna casi impensable. La segunda de las ventajas apuntadas es que ni la universidad ni la industria consideran que deban limitar sus actividades a uno o varios nudos del entramado que constituye la compleja red de la investigación y el desarrollo. Así, la universidad dedica notables esfuerzos al desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías; excelentes ejemplos de esta postura son la puesta a punto de cohetes destinados a poner en órbita satélites por parte de la universidad de Tokio (V. fig. 5) y las investigaciones universitarias sobre fusión controlada, motores de automóviles, robots o biotecnología. Inversamente, la industria desarrolla una importante actividad en el ámbito de la investigación básica orientada; los laboratorios centrales de las grandes firmas industriales basan su actividad en investigaciones fundamentales y sacan a la luz publicaciones científicas especializadas que, en no pocos casos, nada tienen que envidiar a las surgidas de las facultades de ciencias. La sociedad Mitsubishi Kasei ha llegado incluso a crear un Instituto de Ciencias de la Vida exclusivamente consagrado a la investigación fundamental, aunque, todo hay que decirlo, buena parte de su interés resida en potenciar su imagen de marca.

### Una coordinación natural entre la investigación y la industria

El sistema japonés de organización social engendra una cierta coordinación interna entre investigación fundamental, investigación de base orientada e investigación industrial, facetas que coexisten dentro de unas mismas estructuras y centros.

Incluso en aquellos casos en que el

**La circulación masiva de información entre Universidad-industria-instituciones constituye el elemento motor del formidable desarrollo tecnoindustrial del Japón.**

investigador de una firma japonesa se concentra en la investigación aplicada y el desarrollo, ello no le impide estar al acecho de todo cuanto se produce en las facultades de ciencia y tecnología de las universidades japonesas. La coordinación se lleva a cabo de manera oficiosa, aunque sumamente eficaz, a través de relaciones profesor-discípulo, relaciones entre compañeros de promoción universitaria o de instituto, así como mediante la ya mencionada participación de no pocos profesores de universidad en los innumerables organismos consultivos creados por la administración y la industria. Su postura de neutralidad frente a una y otra y el tradicional respeto de que gozan los profesores o quienes alcanzan un nivel de competencia elevado en su trabajo, suelen llevarles a ocupar la cabecera de dichos organismos. Pero quizás el elemento motriz fundamental de las excelentes relaciones universidad-industria resida en el mecanismo de reclutación de nuevos empleados industriales entre los estudiantes universitarios. El profesor japonés tiene la responsabilidad moral de hallar un lugar de trabajo para sus alumnos, y de ahí que cultive con todo esmero sus relaciones con la industria. Inversamente, las grandes firmas tienen un interés enorme en asegurarse el concurso de los mejores elementos universitarios. Para ello, suelen enviar de forma regular a los laboratorios universitarios, con los que mantienen relaciones, ciertas cantidades destinadas a agradecer a los profesores sus consejos y los estudiantes que les han recomendado, garantizando al mismo tiempo una continuidad y calidad de consejos para años sucesivos y, de un modo genérico, el mantenimiento de una atmósfera de confianza entre la sociedad industrial y el profesor. Las recompensas apuntadas se efectúan no pocas veces en forma de especies tales como equipo de laboratorio o gastos para viajes. Dicha práctica explica el monto relativamente bajo de los contratos oficiales establecidos entre industria y universidad (1 350 millones de yens en 1976).

Otro importante canal de transferencia de informaciones de la universidad a la industria lo constituyen las numerosísimas sociedades científicas y asociaciones técnicas o industriales, las reuniones que suelen organizar, seguidas siempre con gran interés, y las publicaciones que se gestan en su seno. Existe una circulación masiva de información, tanto en el ámbito de la comunidad científica como en el de la industrial. Así, por ejemplo, la biblioteca del Departamento de Física de la Universidad de Tokio está abonada a 151 publicaciones extranjeras, 8 publicaciones japonesas en lengua inglesa y 20 en japonés, encargadas estas últimas de conseguir una rápida difusión de los trabajos en curso susceptibles de interesar a los físicos dentro del propio Japón. La gran prensa especializada también contribuye en no escasa medida a una rápida difusión de la información científica y técnica. El periódico económico Nikon Keizai o los diarios industriales Nikkan Kogyo y Nihon Kogyo publican informaciones científicas y técnicas de carácter general. El semanario Kagaku Shimbun está consagrado de forma más específica a las novedades científicas.(3)

¿Qué enseñanzas puede extraer el observador occidental del desarrollo científico y técnico del Japón? La primera afecta a la organización de la investigación en dicho país; en este terreno, como en otros muchos de la actividad humana, las estructuras más lógicas y en apariencia ideales no son necesariamente las más eficaces. La segunda enseñanza a extraer es que, y de forma muy especial para el desarrollo tecnológico, la circulación masiva de información constituye un factor esencial. El hecho de que la sociedad japonesa sea una sociedad que se asienta en la información es un elemento fundamental para explicar el éxito económico del Japón. Por último, la tercera lección a tener en cuenta afecta a un dominio que, por desgracia, no hemos podido abordar en el presente artículo so pena de extendernos en demasía; a saber, la forma en que se imparten los conocimientos científicos en escuelas e institutos de segunda enseñanza. Limitémonos a reseñar que las principales características de la enseñanza de la ciencia en los niveles apuntados son el sesgo intuitivo, la orientación hacia lo concreto y, por encima de todo, el interés en que el alumno sepa utilizar por su cuenta los conocimientos adquiridos. La enseñanza japonesa es auténticamente democrática comparada con la que se imparte en Francia en tanto en cuanto permite a cada alumno sacar el máximo provecho de sus propias capacidades.

Una última cuestión. ¿Hasta dónde podrá llegar el desarrollo científico y tecnológico del Japón? En mi opinión, su tecnología podrá llegar muy lejos, pues dado el funcionamiento excelente de la cadena de investigación básica orientada-desarrollo-producción industrial —cadena que bascula en torno a la industria— y la existencia de una enseñanza de características particularmente adaptadas a la tecnología, mucho es lo que se puede hacer a condición de invertir suficientes medios económicos y humanos, algo a lo que parece plenamente dispuesto el Japón actual. En cuanto a la ciencia pura, el pueblo japonés dispone de las mismas capacidades que cualquier otro pueblo europeo. Sin embargo, la población japonesa presenta la singularidad de mostrarse en extremo homogénea. Dicha homogeneidad ha sido un factor precioso para potenciar su desarrollo tecnológico, pero puesto que la creatividad científica parece anidar allí donde se asientan los grandes crisoles humanos, quizá pueda plantearse el interrogante de si para progresar hasta más allá de unos ciertos límites no le será preciso al pueblo japonés mezclarse con otros. Quizá pierda parte de sus caracteres sustanciales y de su genio, pero saldrá ganando en otros aspectos gracias a las aportaciones exteriores. Tal vez sea éste el desafío básico con que se enfrenta Japón de aquí a finales del presente siglo.

(3) *El Nihon Keizai* («La economía del Japón») tira una edición matinal y otra vespertina con un total de alrededor de los tres millones de ejemplares. Nihon Kogyo y Nikkan Kogyo lanzan una sola edición diaria con tiradas del orden de los 500 000 ejemplares.

## Para más información:


■ T. Dixon Long, «The dynamics of japanese science policy», en «Science policies of industrial nation», Praeger Publishers, 1975.

M. Dupuis, «La Recherche scientifique et technique au Japon», en «Problèmes politiques et sociaux», serie Extrême Orient n.º 361, 1979, la Documentation Française.

■ Masayoshi Sugimoto y David L. Swain, «Science and culture in traditional Japan. A.D. 600-1854», The MIT Press, 1978.

■ Merton Peck, with the collaboration of Shuji Tamura, «Technology», en «Asia's New Giant», The Brookings Institution, 1976.

■ Nakayama Shigeru, David L. Swain y Yagi Eri (Eds.), «Science and society in modern Japan: selected historical sources», University of Tokyo Press, 1974.

■ Shigeru Nakayama, «A history of japanese astronomy. Chinese background and western impact», Harvard University Press, 1969.

■ Terutomo Ozawa, «Japan's technological challenge to the West. 1950-1974: Motivation and accomplishment», MIT Press, 1974.

# El clonaje de los mamíferos: un «futuro mundo feliz»

■ De nuevo la biología ha sido noticia. Ya lo fueron en su día las bacterias genéticamente «reprogramadas» para la producción de hormonas, la introducción de genes en individuos humanos para corregir una enfermedad hereditaria, los «bebés-probeta» de Edwards y Steptoe... Ahora nos anuncian que se ha conseguido el clonaje en el ratón, o sea la reproducción asexuada del ratón en «probeta». Este tipo de reproducción artificial es capaz en potencia de producir millares de seres genéticamente idénticos (como millares de «gemelos»). Naturalmente, puesto que ya se han reproducido ratones de este modo, surge la pregunta obvia: ¿Estará próxima la tirada en serie de individuos humanos? ¿El cambio de siglo nos reserva un «mundo feliz»? ¿Adónde quieren llegar los biólogos con estos experimentos?

### La reproducción asexuada

Un clon puede definirse de un modo genérico como la colección de organismos originados por la reproducción asexuada de un organismo único inicial. Todos los organismos-hermanos poseen el mismo patrimonio genético que el del organismo de origen. Se trata, por tanto, de una «familia» (eventualmente numerosa) de verdaderos gemelos, cuyo único «padre» es también ¡gemelo de sus «hijos»!

El tipo de reproducción asexuada existe espontáneamente en la naturaleza en los seres unicelulares (bacterias, protozoarios, algas, microhongos...). Se trata en este caso de una simple división celular repetida. La reproducción asexuada se da también naturalmente en los vegetales o animales coloniales, como las hidras, las madréporas, etc.: unas células embrionarias, presentes en las yemas, pueden regenerar un organismo entero mediante sucesivas divisiones y diferenciación. En los animales como los vertebrados, no existe la reproducción asexuada, salvo en el caso particular de la formación espontánea de gemelos verdaderos: son efectivamente producto de la división de un huevo fecundado o de un embrión muy joven. Estos dos huevos (o embriones) continúan después su desarrollo de manera independiente. En algunas especies de mamíferos, como en el armadillo, estos procesos son más intensos y pueden llegar a producir espontáneamente hasta doce gemelos a partir de un mismo huevo (recordemos que sobre este mismo principio Aldous Huxley imaginó el clonaje de los seres humanos en un «mundo feliz»).

El clonaje del ratón, cuya primera etapa había sido realizada en 1979 en Ginebra por Karl Illmensee y Peter Hoppe, es totalmente distinto.[1] Es un proceso que depende por completo del investigador, una manipulación genética en el verdadero sentido de la palabra. Pero, no se trata en este caso del injerto de un solo gen en la célula huésped, como ocurre en la reprogramación de bacterias, sino del injerto de la totalidad del patrimonio genético de un organismo en una célula huésped receptora (V. fig. 2). Al estar contenido el patrimonio genético en el núcleo de cada una de las células que componen un individuo, esta manipulación constituye, en realidad, el injerto de un núcleo (suministrado por un individuo A) en un huevo recién fecundado (suministrado por un individuo B) y desprovisto de su núcleo. Activado por la fecundación, el huevo empieza sus divisiones y el patrimonio genético, que se replica y distribuye en las células hijas, dirigirá el desarrollo de un individuo A' genéticamente idéntico (= gemelo) al individuo donador A. Si se repiten los injertos de núcleos de A en una serie de huevos, se obtienen en teoría una serie de individuos-gemelos A', A'', A'''... que constituyen un clon. En realidad, en el experimento de Hoppe e Illmensee publicado en el número de enero de *Cell*,[2] los tres ratones obtenidos mediante el injerto de un núcleo (V. fig. 1) no constituyen un clon. En efecto, cada uno de ellos provenía del injerto de un núcleo suministrado en cada caso por un embrión distinto (éste en estado de blástula —estadio muy precoz— no sobrevivía al experimento, de manera que los tres ratones no son el «doble» de ningún otro ser viviente). El experimento de Hoppe e Illmensee prueba, sin embargo, que la técnica que permite la obtención de clones de ratón —o sea el injerto de núcleos en los huevos— es realizable. El injerto nuclear en el ratón es sin duda una técnica de difícil ejecución, debido al pequeño tamaño del huevo de esta especie (100 micras) y a su fragilidad. Por el contrario, el injerto nuclear y el clonaje se practican corrientemente en los anfibios desde el experimento inicial de Briggs y King en 1952, ya que el huevo de estos animales es muy grande (1,5 mm o más). No obstante, muchos especialistas lo consideraban impracticable en los mamíferos, puesto que hasta ahora se habían realizado en todo el mundo cuatro intentos con este grupo de animales que no tuvieron ningún éxito. La experiencia de Hoppe e Illmensee ha sido considerada unánimemente como un éxito a nivel técnico. Según ciertas informaciones, aún no publicadas en las revistas científicas, parece ser que recientemente ambos investigadores han conseguido formar un auténtico

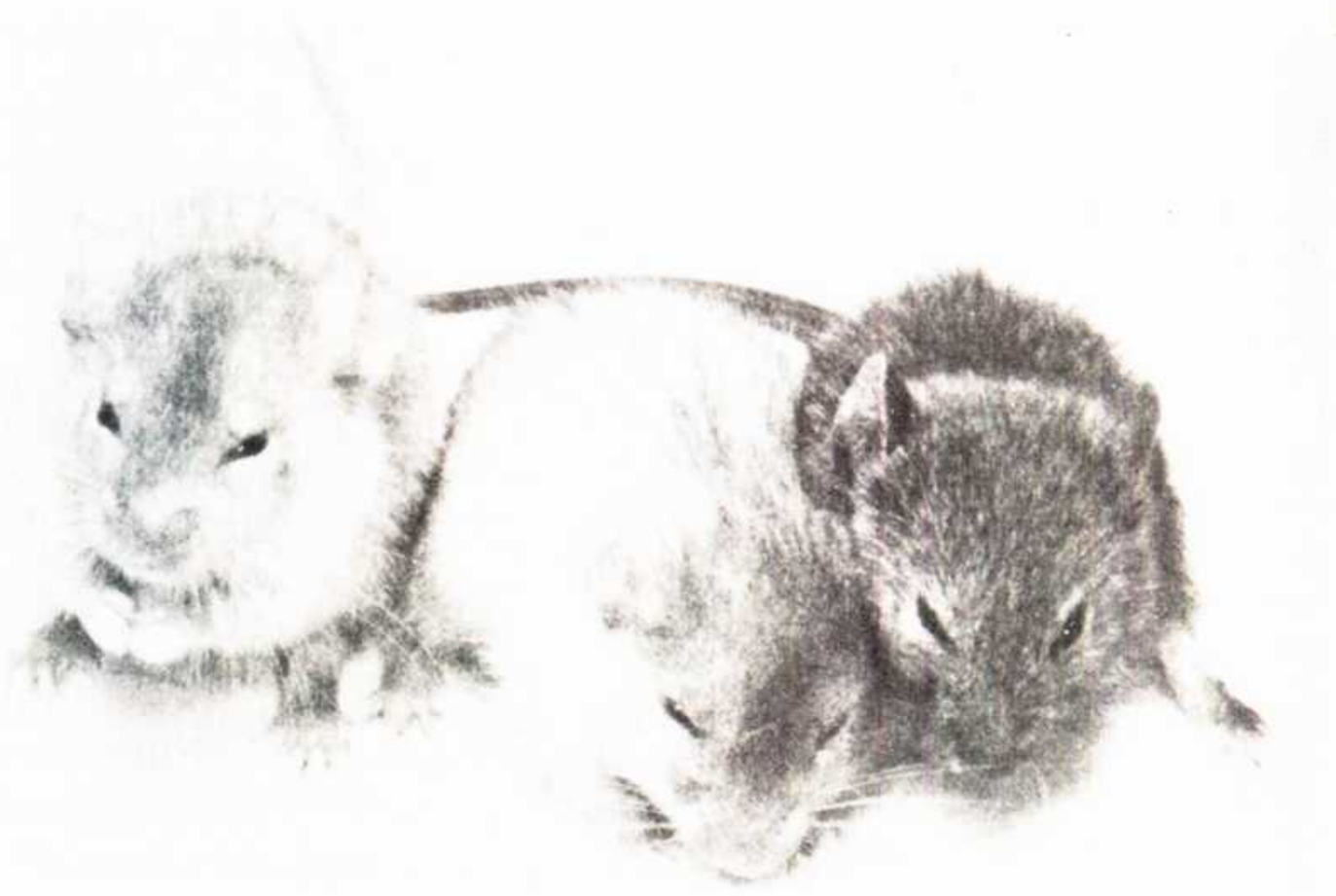


Figura 1. **Tres ratones (dos grises y uno de pelaje agutí, a la derecha) obtenidos por Illmensee y Hoppe mediante el trasplante de núcleos en huevos, técnica que constituye el fundamento del clonaje. Dos de ellos han alcanzado la edad adulta y se han reproducido normalmente, el tercero falleció a las siete semanas.** (Fotografía reproducida con la autorización de *Cell*.)

**Practicado corrientemente en los anfibios, el clonaje parecía hasta ahora una técnica cuya aplicación a los mamíferos estaba descartada.**

clon de ratones formado por numerosos gemelos, gracias a varios injertos de núcleos provenientes de un mismo embrión. Sin embargo, se plantea de forma inmediata una pregunta obvia: ¿para qué sirven los experimentos de clonaje?

### Hasta ahora las experiencias de clonaje con adultos no han dado resultados positivos

La primera pregunta a la que tratan de responder los biólogos mediante estos injertos de núcleos se ha planteado ininterrumpidamente desde los orígenes de la embriología, en el siglo XIX. Un animal (o una planta) está constituido por millares de células, descendientes de la célula huevo inicial. Las células de los distintos tejidos de un mismo organismo no tienen, sin embargo, los mismos caracteres ni las mismas funciones: por ejemplo, una célula muscular se distingue perfectamente de una célula nerviosa, de una célula hepática, etc. (en tal caso, se dice que están diferenciadas). ¿El patrimonio genético de una célula diferenciada es idéntico al patrimonio genético de otra célula cualquiera en un individuo determinado? Los investigadores han supuesto que si todos los genes están presentes en el patrimonio genético de una célula somática de un organismo desarrollado, entonces un injerto del núcleo de esta célula en un huevo debería permitir la regeneración de un individuo completo. Para probar esta hipótesis, Thomas J. King y Robert Briggs en Filadelfia, en 1952, intentaron los primeros injertos de núcleos de células somáticas en los huevos de rana. Obtuvieron efectivamente renacuajos y, más tarde, uno de sus discípulos, R.G. Mckinell, obtuvo ranas adultas. Pero, los organismos donantes eran embriones muy jóvenes de rana (estadio de blástula). De hecho, de las numerosas experiencias de clonaje con anfibios, realizadas posteriormente por distintos equipos, se ha llegado a la conclusión siguiente: los injertos nucleares son menos capaces de originar individuos normales, es decir, aptos para alcanzar la edad adulta y reproducirse, cuando las células donadoras provienen de tejidos más diferenciados.(4) Según C.L. Gallien, especialista en el clonaje de los tritones en la Universidad de René-Descartes de París, los núcleos tomados de embriones jóvenes (blástulas) dan lugar a adultos fértiles en el 40 ó 50 % de los injertos, tanto en el tritón como en la rana. En estas especies, el porcentaje tiende a cero cuando los núcleos provienen de embriones de más edad y bien diferenciados (estadio de néurula), y es nulo cuando se trata de un embrión ya formado, en estadio de tubérculo caudal (estadio precedente al nacimiento de la larva o renacuajo). El xenopus (sapo africano) constituye una excepción: J.B. Gurdon, en Cambridge, ha obtenido adultos fértiles injertando los núcleos tomados de las células intestinales diferenciadas del renacuajo. Pero, este resultado no se presenta más que en el 0,3 % de los injertos de núcleos. En todo caso, como señala Maria di Berardino (antigua colaboradora de King y Briggs), hasta el momento ningún núcleo de célula diferenciada, tomada de un anfibio adulto, ha conducido a la formación de gemelos que llegaran a la edad adulta:(4) como mucho el injerto de núcleos de adultos da lugar a larvas a menudo anormales y que mueren jóvenes (dicho sea de paso, esto demuestra que el libro de David Rorwick, *A son image*, que pretendía relatar el clonaje de un millonario americano, ¡era, sin lugar a dudas, una monumental tomadura de pelo!).

El éxito de Illmensee y Hoppe conseguido con el ratón tiene una explicación lógica, ya que tomaron, como King y Briggs en 1952, núcleos de un embrión

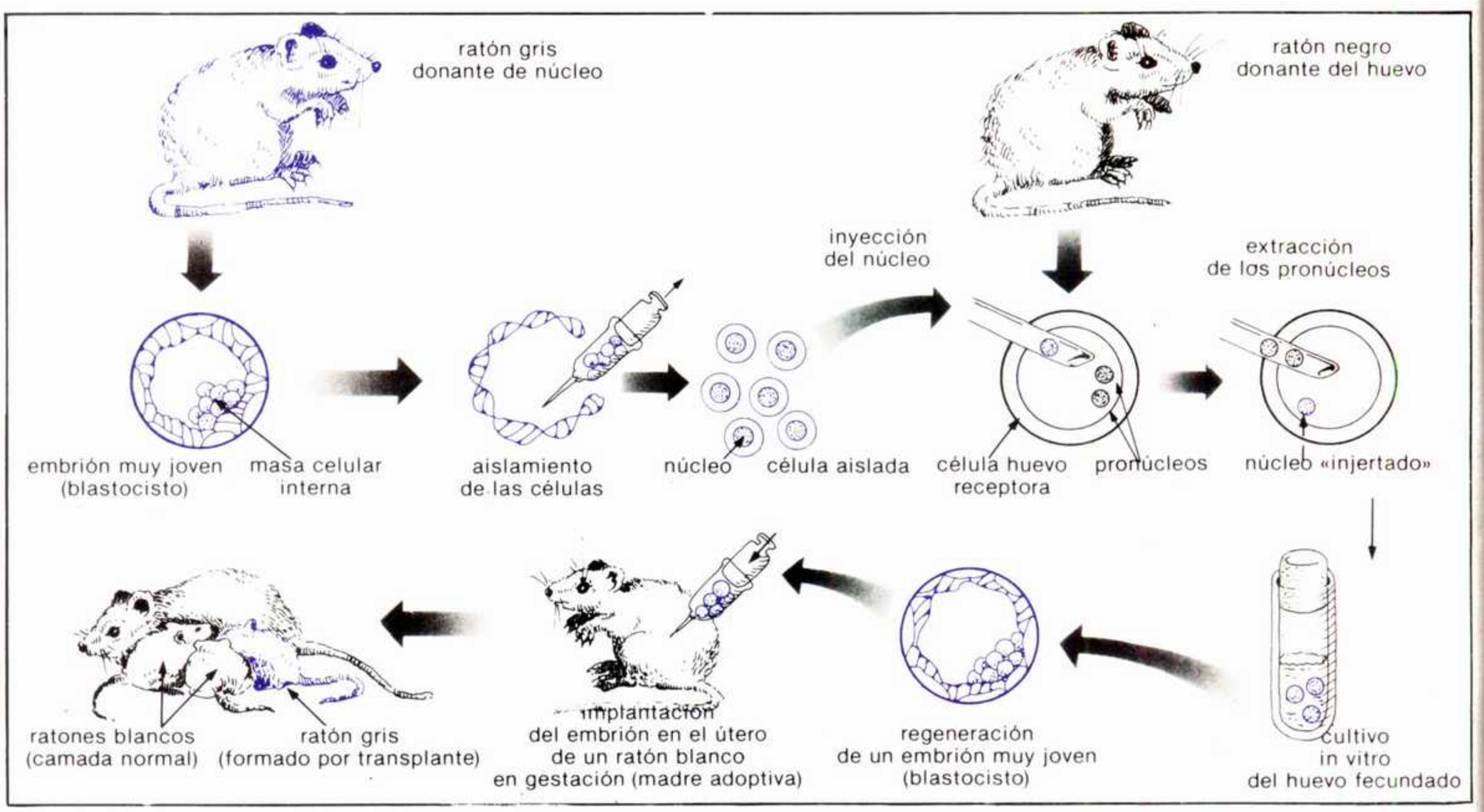



Figura 2. **El esquema resume el experimento de reproducción asexuada del ratón, logrado por K. Illmensee y P. Hoppe. Ratones grises (o de pelaje aguti) suministraron embriones muy jóvenes (estadio de blastocisto). Las células que suministraron los núcleos, inyectados en las células-huevo, fueron donadas por ratones negros (los huevos acaban de ser fecundados, y los núcleos, o pronúcleos, de las células sexuales que hubieran debido fusionarse para formar el núcleo normal del huevo fecundado, fueron retirados. Los huevos provistos de los núcleos injertados crecieron en cultivo hasta el estadio de blastocisto, y luego fueron implantados en el útero de ratones blancos, junto con embriones de ratón blanco. Con los ratones blancos, nacieron ratones grises o aguti, obtenidos a partir de los injertos de núcleos. Illmensee y Hoppe realizaron 343 injertos de núcleos y obtuvieron 48 blastocistos, 16 de los cuales se implantaron en madres adoptivas: de este modo se obtuvieron 3 ratones «clonados» (fig. 1).** (Según *Cell*, enero 1981.)

(1) *Science News, 116,* 68, 1979.
(2) K. Illmensee, P. Hoppe, *Cell, 23,* 9, 1981.
(3) *Science News, 17,* 1, 1981.
(4) M.A. Di Berardino, *Différentiation, 17,* 17, 1980.

muy joven en estadio de blástula. Así, no sorprende q'·e dos de sus tres ratones nacidos de estos injertos hayan alcanzado la edad adulta y se hayan reproducido normalmente.

**El injerto rompe los cromosomas**

Todos estos resultados demuestran que, en el curso de la diferenciación celuiar, se produce una pérdida progresiva de la capacidad del patrimonio genético para promover el desarrollo normal de un nuevo organismo, cuando es injertado en un huevo enucleado. Sin embargo, algunos resultados obtenidos con

## Biólogos partidarios de un «mundo feliz»

■ En tanto que manipulación genética, el clonaje de la rana o del ratón sirve para verificar la constatación siguiente, banalizada por los grandes debates celebrados en los años setenta sobre la introducción de genes en las bacterias: La biología moderna representa tanto un poder sobre la vida como una ciencia de la vida. Mediante el clonaje, la biología tiene el poder de conferir a la rana o al ratón una forma de reproducción asexuada que estas especies no tienen un estado natural. De aquí la inquietud que aparece en la opinión pública, porque: ¿qué ocurriría si este poder se aplicara al hombre? o, dicho de otro modo ¿qué futuro nos aguarda en el caso de que los biólogos sean capaces de producir centenares de gemelos de un individuo dado, como en un «mundo feliz»? El clonaje logrado en el experimento con el ratón es sin duda un paso importante hacia el dominio de la técnica necesaria para conseguirlo.

El clonaje de los seres humanos plantea problemas éticos bastante evidentes. Muchos biólogos, como Lewis Thomas, director del centro anticanceroso Sloan-Kettering de Nueva York, son conscientes de ello. Así Thomas decía en 1974: «La individualidad, la cualidad de ser uno mismo, es un hecho esencial en nuestra vida. La idea de seres humanos no individualizados, absolutamente idénticos, es aterradora cuando se piensa detenidamente en ella».(6) Y en 1977, durante la sesión sobre las manipulaciones genéticas, organizada por la Academia de Ciencias de Estados Unidos, unos contestatarios intervinieron con los gritos de «¡No queremos ser clonados!».

F.J. Ayala y J.W. Valentine escribían en 1979: «El nacimiento tan sólo de un individuo por medio del clonaje nos parece moralmente repugnante; el clonaje de los seres humanos a gran escala pondría en peligro incluso la supervivencia de una sociedad democrática».(6 bis)

Por otro lado, es conveniente saber que algunos biólogos estiman que el clonaje del hombre es un objetivo «deseable», incluso en el supuesto que el problema no esté aún técnicamente en vías de solución (ver artículo). Joshua Lederberg, premio Nobel de Medicina, ha sido uno de los primeros defensores del clonaje humano como medio de reproducción sin peligro de deterioro genético de los «individuos superiores» (sic).(7) Además, partidario a ultranza de la eficacia, cree que los grupos de «gemelos» (en otras palabras de clones) serían particularmente aptos para la realización de algunos trabajos que precisan una estrecha cooperación, como las intervenciones quirúrgicas, las misiones espaciales, etc. Para mayor regocijo de ciertos científicos, ¡el clonaje permitiría por fin realizar a voluntad «experimentos» sobre la importancia del factor hereditario y/o cultural en la formación de los seres humanos! Los políticos tendrían también motivos para alegrarse. En efecto, algunos problemas sociales podrían resolverse, como el conflicto entre generaciones: ¡un padre y su «hijo-gemelo» podrían estar más fácilmente en la misma onda! Un biólogo americano, James Bonner, declara simplemente: «Nada nos impide desarrollar una cantidad ilimitada de personas genéticamente idénticas que tengan las características deseadas».(8) Y otro biólogo americano, B. Davis, para no ser menos, señaló que los grandes matemáticos y los grandes músicos deberían ser clonados especialmente, pues el «éxito en sus artes respectivas» sería, según él, debido en gran parte a un «don innato» (o sea genético).(8) Joseph Fletcher, de la Universidad de Virginia, se atreve a considerar que «la sociedad podría tener necesidad de clones humanos especializados en cumplir algunas misiones singulares, por ejemplo individuos resistentes a las radiaciones, o dotados de poca estatura para vuelos de gran altura o viajes espaciales».(9) J. Fletcher no duda al decir que «todas las razones para modificar la humanidad son justificables, incluso la necesidad de fabricar por medio de la bioingeniería unos seres para-humanos u hombres modificados».(10) asimismo, J.F. Danielli, director del centro de Biología Teórica Suny, en Búfalo, cree que ha llegado «el momento de buscar una mejora de la condición humana, además de la que puede obtenerse mediante cambios institucionales, mediante manipulaciones genéticas»...(11) Como puede verse, no es tan sólo el premio Nobel McFarlane Burnet el único que sueña con el «poder de la genética» (véase P. Thuillier, *Mundo Científico* nº 2, p. 132, 1981).

Por último, la primera tentativa de clonaje humano tuvo lugar efectivamente en 1979. L.B. Shettles, de la Universidad de Columbia, Nueva York, injertó un núcleo proveniente de una célula de la línea germinal (espermatogonia) de un ser humano adulto en unos huevos humanos enucleados.(12) Obtuvo el desarrollo de un embrión hasta el estadio de mórula (estadio más precoz que el blastocisto). Este «experimento», que hasta el momento ha pasado desapercibido por la opinión pública, ha sido juzgado como injustificable por un especialista en el clonaje de los anfibios, Marie di Berardino, y por Thomas King.(13) Se trata en efecto de un *experimento sobre el hombre*, tanto más condenable desde que se sabe que el clonaje a partir de núcleos de células adultas en los anfibios da lugar en un 98 % de los casos a renacuajos anormales (por otra parte el 2 % de renacuajos normales tampoco son viables, véase artículo). Quizás ha llegado el momento de reconsiderar la proposición que hizo Georges Wald (otro premio Nobel de Medicina) durante los debates sobre las manipulaciones genéticas celebrados en la década de los setenta: declarar inviolable el patrimonio genético humano. Ésta es la opinión de F. Kafatos, biólogo de Harvard, que preconiza la prohibición de los experimentos de injertos nucleares sobre material humano e inclusive sobre material proveniente de los monos.(13) Según la revista americana *Science*, numerosos observadores creen que, con el éxito del clonaje en el ratón, ha llegado el momento de plantearse seriamente estas cuestiones.(13)

(5) R. Briggs, en *Nuclear Transplantation*, International Review of cytology, suplemento 9, (Ed. J.F. Danielli y M.A. Di Berardino), p. 107, Academic Press, 1979.
(6) L. Thomas, *New England Journal of Medecine*, 12 diciembre 1974.
(6 bis) F.J. Ayala, J.W. Valentine, «Evolving: the theory and processes of organic evolution», Benjamin/Cummings, p. 413, 1979.
(7) J. Lederberg, *Bulletin of the Atomic Scientist*, 23, 4, 1966.
(8) Citado en T. Howard y J. Rifkin, «Les apprentis sorciers», p. 121, Ramsay, 1979.
(9) J. Fletcher, «The ethics of genetic control: ending reproductive roulette», Doubleday/Anchor Press, 1974.
(10) J. Fletcher, *New England Journal of Medecine, 285*, 776, 1971.
(11) Citado en «Les apprentis sorciers», p. 77, Ramsay, 1979.
(12) L.B. Shettles, *Am. J. Obstet. Gynecol., 133*, 222, 1979.
(13) *Science, 211*, 375, 1981.

**Una tentativa de clonaje humano juzgada como injustificable.**

anterioridad han demostrado que el contenido genético de los núcleos celulares no varía durante el desarrollo. A partir de estas experiencias existen dos posibles razonamientos para explicar la pérdida constatada de capacidad. Uno, en el que coinciden todos los investigadores, afirma que el patrimonio genético de las células diferenciadas toma un estado físico estable, que corresponde al hecho de que ya no vuelve a replicarse (las células diferenciadas se multiplican poco). La estabilidad es mayor cuando se trata de una célula diferenciada y vieja. Así, cuando se injerta un patrimonio genético en un huevo que inicia las divisiones celulares, se le exige bruscamente otro tipo de funcionamiento (y, por consiguiente, otro estado físico): debe replicarse «a gran velocidad» y, para ello, la cromatina (ADN asociado a proteínas) debe descondensarse y formar luego los cromosomas. La brutalidad considerable de este cambio físico provoca la rotura de los cromosomas. En efecto, el aumento de la tasa del número de fracasos en los injertos de núcleos de células diferenciadas está estrechamente relacionado con la tasa de las aberraciones cromosómicas en los embriones originados a partir de estos injertos; esto explica el hecho de que inicien el desarrollo y luego mueran. El otro razonamiento, no excluido aún por los experimentos realizados hasta ahora, como subraya R. Briggs,[5] consiste en que el patrimonio genético de las células diferenciadas sufre también una estabilización de los mecanismos que controlan la activación selectiva de sus genes, en función del tipo de tejido al que pertenecen (técnicamente esto recibe el nombre de estabilización del epigenotipo). Si tal estabilización fuera irreversible (o difícilmente reversible), esto explicaría también por qué las células muy diferenciadas o diferenciadas desde hace tiempo, como en el adulto, sólo pueden proporcionar núcleos incapaces de llevar a término el desarrollo de un nuevo organismo. En la actualidad, la mayoría de las investigaciones sobre injertos nucleares y clonajes de animales intentan profundizar en cada uno de estos dos aspectos de la diferenciación celular. Hasta ahora se han puesto al descubierto los controles ejercidos por el citoplasma sobre el estado funcional del núcleo durante el desarrollo. De manera más general, todas estas investigaciones se insertan en la biología de la diferenciación de los organismos pluricelulares (que es uno de los mayores problemas aún no resueltos por la biología), de la que se espera mucho en el terreno del envejecimiento y del cáncer.

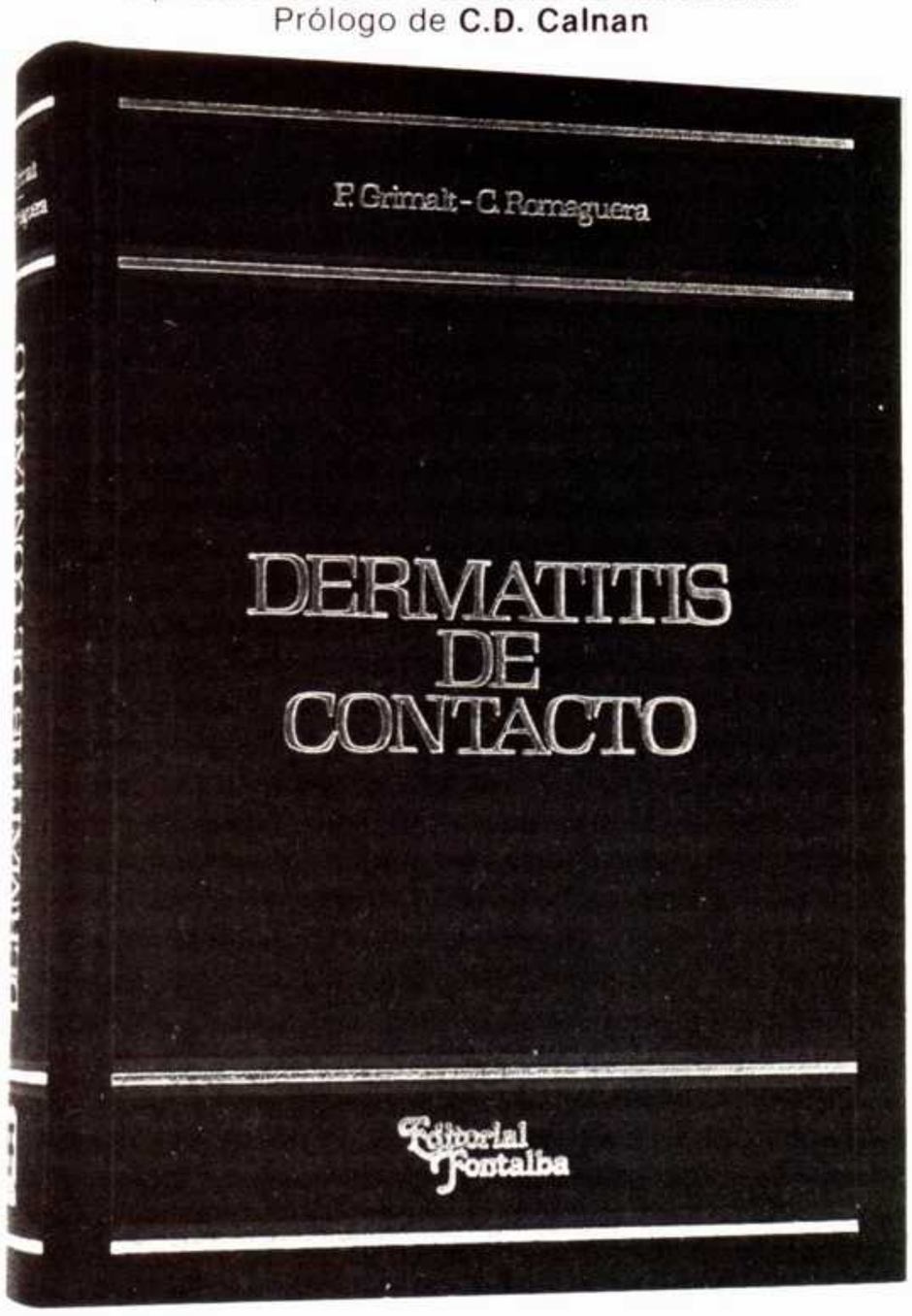
*Marcel Blanc.*


# DERMATITIS DE CONTACTO

**F. GRIMALT Y C. ROMAGUERA**

Profesores del Departamento de Alergia Cutánea y Dermatologia Aplicada de la Universidad de Barcelona.

Prólogo de **C.D. Calnan**




Primer y único libro en lengua castellana que analiza con todo rigor el amplio abanico de enfermedades cutáneas provocadas por el contacto externo

Desde cómo aprender a practicar pruebas epicutáneas —y el modo de procurar los alérgenos— hasta el último detalle científico sobre el tema

Imprescindible para todo dermatólogo de lengua hispana, y para todos los médicos dedicados a las enfermedades profesionales y a los accidentes de trabajo

Formato: 17 x 24 cm, 560 páginas, más láminas a todo color, 64 ilustraciones. Lujosa encuadernación en simil-piel, con estampación en oro.

**P.V.P. 4000 Pts.**

**Pídalo a su librero o contrarreembolso a:**

**Editorial Fontalba, s.a.** **Valencia, 359 · 6.º 1.ª Barcelona-9 (España)**

# La televisión de bolsillo

■ ¿Quién de nosotros no ha deseado, por lo menos una vez, disponer de un televisor con el que fuese posible seguir una apasionante misión en directo, una especie de «transistor con imagen»? Cierto que en el mercado existen ya numerosos modelos de televisores portátiles con pantalla miniatura de tipo catódico, pero son pesados y voluminosos. Nada tienen que ver con un verdadero televisor de bolsillo. Esto es lo que se han planteado los principales fabricantes japoneses de televisores empeñados desde hace varios años en el estudio de pantallas que hagan compatibles un formato de bolsillo en cuanto a volumen y consumo eléctrico con una imagen de suficiente calidad.

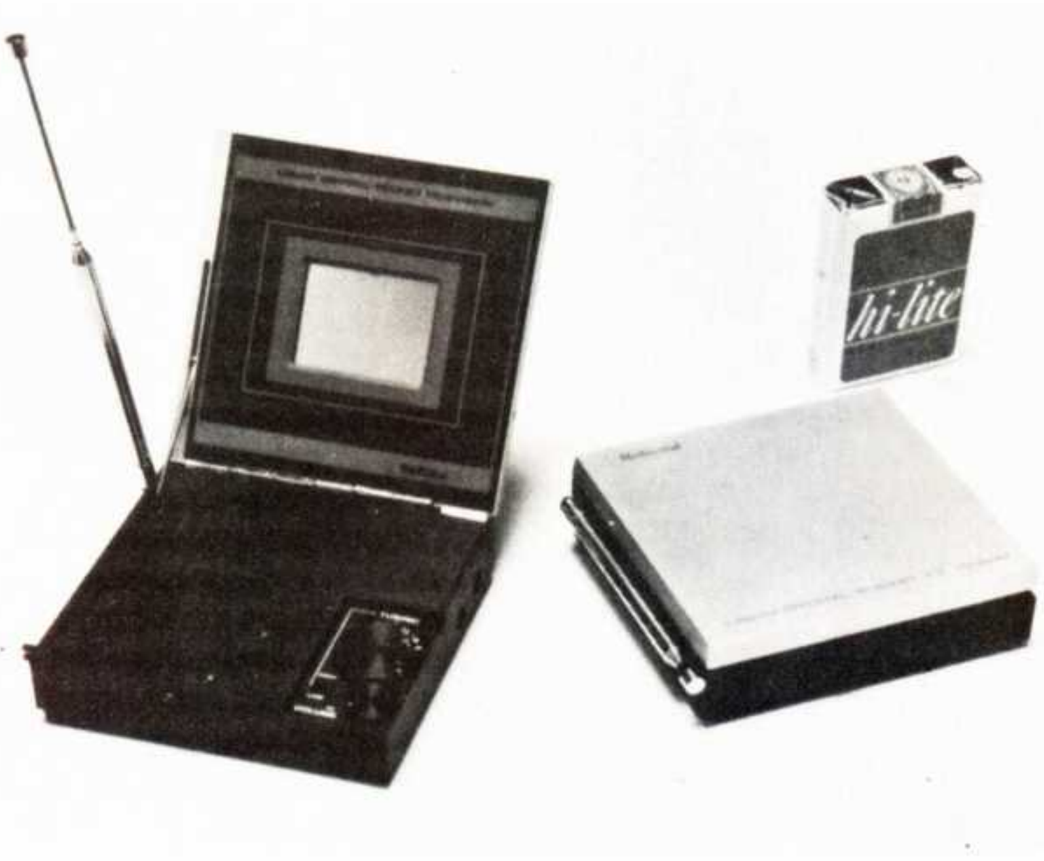
**¿Qué se entiende por una pantalla de bolsillo adecuada?**

Un formato de bolsillo adecuado es el de una calculadora electrónica actual e incluso menor. Por tanto, una pantalla de bolsillo de estas características deberá basarse en una técnica que permita realizar al mismo tiempo un reproductor de imagen de poco espesor y de pequeño tamaño, la integración completa de los circuitos electrónicos de recepción, de modulación y control de dicho reproductor de imagen, y una alimentación con baterías de reducida capacidad eléctrica. En el campo de los dispositivos de presentación en pantalla o visualización, generalmente se distinguen los sistemas «activos», que son emisores de luz, y los sistemas «pasivos», que se limitan a modificar localmente la cantidad de luz ambiente que el dispositivo devuelve al observador. Los primeros comprenden los diodos electroluminiscentes, las pantallas de plasma, los paneles electroluminiscentes y otros varios, incluido el tradicional tubo de rayos catódicos. Los segundos comprenden los dispositivos de cristales líquidos y algunas otras novedades aún en fase de desarrollo, como el visualizador electrolítico.(1) Los ejemplos de los relojes digitales y las calculadoras de bolsillo confirman, si fuera preciso, que los sistemas pasivos consumen bastante menos energía (de 1 000 a 10 000 veces menos en el visualizador) que los sistemas activos, lo cual es perfectamente natural. Es por esto que los industriales japoneses han decidido aprovechar su enorme experiencia técnica e industrial en cristales líquidos para desarrollar pantallas matriciales pasivas de características compatibles con la presentación de una imagen de TV. Sin embargo, ¿cuál sería el mercado y el precio de la televisión de bolsillo? En este punto, los interlocutores se muestran ambiguos y las informaciones son escasas. Evidentemente, la pregunta es delicada y, aunque dueños indiscutibles de los productos electrónicos destinados al «gran público», los especialistas japoneses parecen vacilantes, incluso divididos. Sin embargo, una cosa es segura: en general, el usuario estará solo delante de la «minipantalla» y esta precisión, tal como veremos, tiene su importancia.

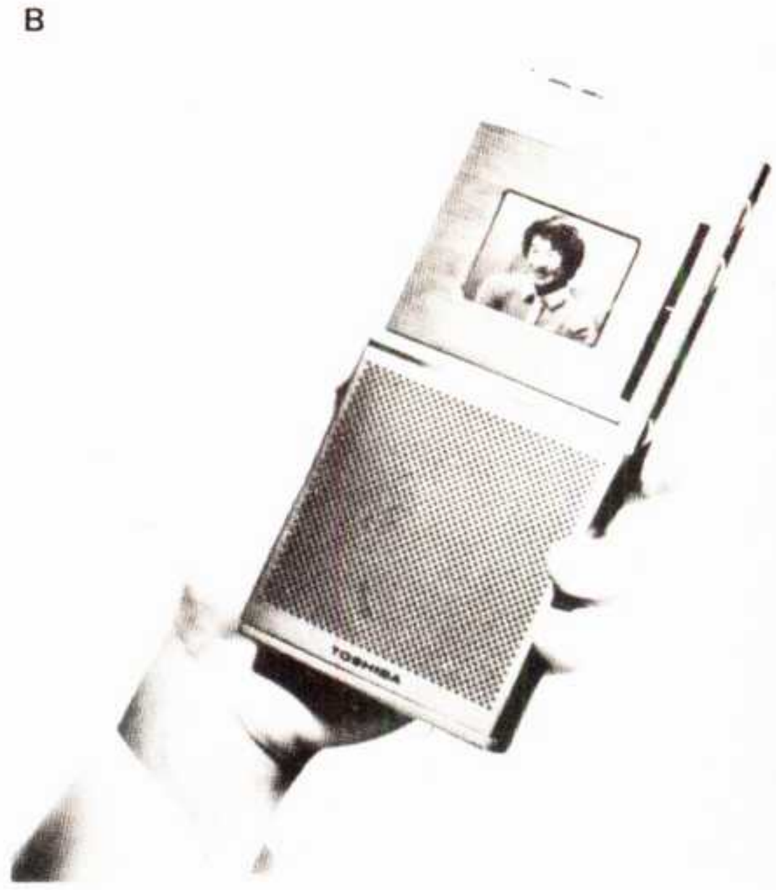
**Verdaderas TV de bolsillo...**

La primera firma que presentó un prototipo de tamaño adecuado fue Matsushita. Después de varios ensayos bastante discretos, el prototipo presentado en la conferencia internacional de Kioto en julio de 1980(2) ha parecido constituir una solución interesante para el problema de la TV de bolsillo, problema que hasta aquel momento se consideraba como una auténtica apuesta a la vez técnica y económica. La pantalla está constituida por una estructura propuesta en Francia hace unos diez años(3) y adoptada después por Hughes Aircraft

A




B




**Dentro de dos años, Matsushita y Toshiba comercializarán televisores miniatura con una pantalla plana de cristales líquidos cuyos prototipos pueden verse aquí. La pantalla Matsushita proporciona una imagen en blanco y negro de 36 × 48 mm² y el televisor, de unas dimensiones de 118 × 115 × 35 mm³, pesa 640 g con las pilas de alimentación** (A). **El prototipo de televisor de bolsillo realizado por Toshiba tiene un volumen de 170 × 80 × 16 mm³, un peso de 300 g y un tamaño útil de pantalla de 31 × 41 mm²** (B). **Estos dos productos son parecidos, y los rendimientos de la imagen son equivalentes. Parece ser que el Japón ha hecho la apuesta de aplicar al «gran público» los sistemas de visualización de cristales líquidos.** (Fotografía Matsushita.)

(1) J. Duchêne, R. Meyer, G. Delapierre, *I.E.E.E. Trans on Electron Devices, ED 26, 8,* 1243, 1979.
(2) M. Yoshiyama y otros, 8th *Int. Liquid Crystal Conf.* Kioto, julio 1980, documento 1-14 e *I.E.E.E. Tokyo section,* p. 94, Denshi Tokio, 1979.
(3) J. Borel, J. Robert, *Int. Symposium and Exhibition,* Filadelfia, mayo 1971.

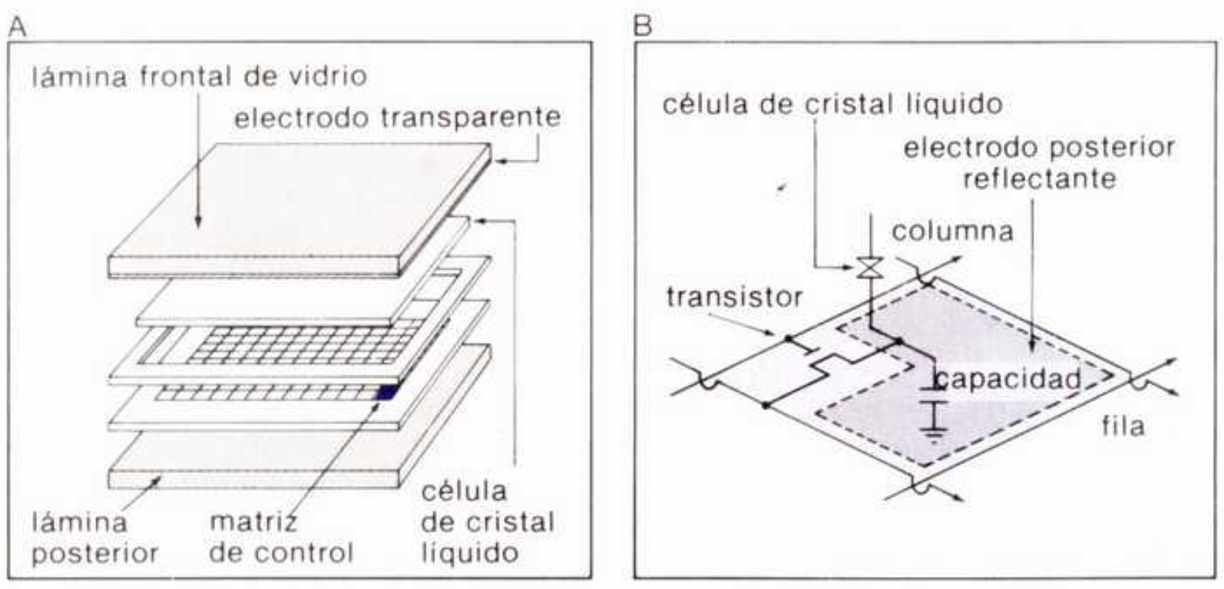
**No hay duda alguna sobre el hecho de que la TV de bolsillo con cristales líquidos será en el futuro una realidad comercial.**

de Estados Unidos. Esta estructura consiste en una capa delgada (10 $\mu$m) de cristal líquido nemático, intercalada entre una lámina de vidrio, recubierta con un electrodo transparente uniforme en la parte frontal, y una oblea de silicio monocristalino sobre la que se ha dispuesto el circuito de control, en la parte posterior. El circuito de control de la pantalla comprende 240 filas y 240 columnas, que forman una matriz cuyas intersecciones materializan un punto elemental de la imagen a formar (cuadrado).[4] El efecto electroóptico empleado es el de la difusión dinámica de la luz (DSM = Dynamic Scattering Mode) en la reflexión, gracias a un electrodo reflectante situado en la parte posterior.[4] Este efecto permite que la pantalla module localmente la luz ambiente y, por tanto, restituya la distribución de negros, grises y blancos que define la imagen. Las dimensiones exteriores de la pantalla propiamente dicha, o célula, son de $44 \times 56$ mm$^2$, comprendidas las conexiones; la imagen tiene un tamaño efectivo de $36 \times 48$ mm$^2$, es decir, una diagonal de 60 mm (el tamaño del punto elemental es de $150 \times 200$ $\mu$m). El contraste anunciado (relación blanco/negro) es de 14/1 dentro de un cono de observación de 15° de semiángulo en el vértice. El aspecto de la imagen es comparable a la de los tubos de rayos catódicos pequeños de 75 mm de diagonal, aunque su brillo es menor y tiene un arrastre notable. El conjunto del prototipo mide $118 \times 115 \times 34$ mm$^3$. Pesa 640 g con dos pilas de 4,6 V y consume una potencia total de 1,5 W. El precio de venta estimado actualmente es del orden de unas treinta y cinco mil pesetas, siempre que Matsushita consiga fabricar con un buen rendimiento dos pantallas por oblea de silicio de 4 pulgadas. Este precio parece algo elevado en relación al servicio prestado, sobre todo para un producto que se dirige preferentemente —y en esto todo el mundo está de acuerdo— a una clientela joven.

La segunda firma que entró oficialmente en liza con un prototipo presentado en octubre pasado en el Electronic Show de Tokio ha sido Toshiba, que ha realizado un televisor de bolsillo, siempre en blanco y negro, de $170 \times 80 \times 16$ mm$^3$ (300 g), que consume 2,2 W, y cuya comercialización se prevé posible en un plazo de dos años con un precio idéntico al precedente. La estructura, el modo de control y el efecto electroóptico también son idénticos. La célula contiene $220 \times 240$ elementos y mide exteriormente $41 \times 51$ mm$^2$, o sea una diagonal de 51 mm (dimensiones del punto: $132 \times 162$ $\mu$m$^2$). El producto Toshiba, por tanto, es muy parecido al Matsushita, y las características de la imagen son equivalentes en lo referente al contraste y al ángulo de visión. La trama original, formada por una mezcla de cristales líquidos nemáticos de la propia firma, sólo se percibe a nivel de los tonos degradados (o niveles de gris) y de la cadencia de los cambios de imagen, aunque parece que la de Toshiba tiene mejor calidad.

El prototipo propuesto por Hitachi es muy distinto. Ésta fue la primera firma que presentó, en 1977, un receptor de televisión de pantalla plana y cristales líquidos.[5] Posteriormente, presentó y describió diversas variantes, y el último ingenio, presentado en noviembre de 1980 es una versión miniaturizada que se ofrece en un formato autónomo de bolsillo. El efecto empleado es el T.N. (*Twisted Nematic* o nemático en hélice), que se emplea actualmente en los visualizadores de relojes y calculadoras comercializados. El corte de la célula es idéntico: el cristal líquido se inserta entre dos placas de vidrio recubiertas de unos electrodos transparentes grabados; esta célula está situada entre dos

## El circuito de control de pantalla plana




La matriz que constituye el circuito electrónico de control de la pantalla (A) está formado por M filas y N columnas cruzadas (B). Por tanto, la imagen está definida por $M \times N$ puntos elementales situados en cada intersección y conectados individualmente por una parte a un transistor MOS en serie con una capacidad y, por otra, a la «célula» de cristal líquido.

El barrido de la imagen se realiza de forma secuencial mediante dos columnas que están conectadas a las rejillas de los transistores MOS. Por tanto, todos los transistores MOS de una columna se activan simultáneamente mediante la tensión estándar ($\simeq$5V) de apertura de puerta, mientras que cada una de las fuentes de estos transistores MOS recibe, por su fila correspondiente, la tensión de polarización Vd del cristal líquido. Esta tensión recibida constituye la información analógica de video. De esta forma, cada uno de los puntos individuales se direcciona individualmente, y la capacidad permite conservar en «memoria provisional» el nivel de polarización analógico Vd. Finalmente, si la constante de tiempo definida por esta capacidad y la resistencia de fuga de la célula de cristal líquido está correctamente ajustada (30 a 40 ms), el efecto electroóptico inducido no presenta ni «trazo» (desplazable con una constante de tiempo mayor) ni fenómeno de «parpadeo» (que se produce con un tiempo de memoria demasiado corto).

(4) Para obtener más información sobre los cristales líquidos y los efectos electroópticos a los que se hace referencia aquí, puede consultarse alguno de los numerosos artículos de descripción general que ya se han publicado como: I.A. Shanks, «Liquid crystal materials and device developments», *Electronic Eng.*, p. 30, agosto 1974.
(5) *Electronique Actualités*, del 16 diciembre 1977 y E. Kaneko, *J.E.E.*, p. 42, septiembre 1977, y *Electronics*, p. 41, 26 mayo 1977.

polarizadores cruzados, uno de ellos reflectante. La diferencia con respecto a los visualizadores digitales consiste en los electrodos transparentes, que están grabados en filas sobre una placa y en columnas sobre la otra, cruzándose de manera que forman la matriz de direccionamiento. El principio Hitachi es original en el sentido de que no se basa sólo en la electrónica para el control de la pantalla. Este control se obtiene actuando sobre las características electroópticas propias de la célula (efecto electroóptico, estructura inicial, mezcla nemática empleada). El prototipo contiene 120 × 160 puntos y asegura una calidad de imagen adecuada a pesar de que se obtienen 120 líneas de definición a partir de sólo 30 líneas de electrodo transparente. A cada una de ellas le corresponde 4 líneas de definición de la pantalla. Gracias a esta astucia tecnológica, el número de filas eléctricas se divide por cuatro, pero el número de columnas eléctricas debe multiplicarse por cuatro.(6) El resultado es un televisor de bolsillo de 146 × 95 × 30 $mm^3$ (480 g) cuya pantalla tiene un tamaño útil de 45 × 60 $mm^2$ (75 mm de diagonal). Su consumo es de 1,3 W en total y la imagen presenta un contraste aproximado de 10/1, con 16 niveles de gris y un arrastre muy reducido. Su plazo de comercialización también está previsto en dos años. El precio de venta, estimado en unas 25 000 ptas., debería reducirse, ya que una de las ventajas de este prototipo consiste en que el factor precio no está ligado a la importante superficie de la oblea de silicio tratado, puesto que el control de la pantalla está asegurado por circuitos integrados elaborados sobre un substrato multicapa. Las últimas noticias son que Hitachi proyecta presentar muy pronto un nuevo prototipo con una pantalla de 240 × 240 puntos que funciona con el mismo principio, pero la astucia tecnológica que la firma adoptará para conseguir este resultado aún no ha sido revelada.

### ¡... Y un televisor de muñeca!

El último industrial que ha entrado en esta competición es el gran fabricante de relojes Seiko a través de la sociedad Suwa Seikosha y, más exactamente, de su filial Sinshu Seiki (que también comercializa bajo el nombre de Epson). Esta firma también ha presentado en el Electronic Show de Tokio un prototipo de televisor de tamaño suficientemente pequeño como para poderlo llevar en la muñeca. El principio y la estructura son idénticos a los de los proyectos Matsushita y Toshiba, aunque el medio activo no es una mezcla de cristales líquidos nemáticos. En este caso se emplean moléculas colorantes dicroicas, cuya absorción luminosa depende de la orientación con respecto a las direcciones de propagación y de polarización de la luz, mezcladas en proporción adecuada en el seno de un compuesto nemático. En esta matriz líquida, el huésped (líquido nemático) orienta, bajo el efecto de una tensión eléctrica de polarización, al invitado (la mezcla dicroica), modulándose así la absorción luminosa del conjunto. De ahí el nombre inglés «guest-host» empleado en este caso. Una vez resueltos los problemas de estabilidad química, de homogeneidad de la mezcla y de contraste óptico, este efecto presenta algunas ventajas definitivas, sobre todo la de necesitar solamente un polarizador, por lo que el ángulo de visión puede ser muy grande. En base a este principio, Seiko ha realizado un prototipo de 210 × 210 puntos con una superficie útil aproximada de 24 × 33 $mm^2$ (41 mm de diagonal) que funciona con baja tensión (6,5 V) y consume sólo 40 mW. El aspecto de esta pantalla es bueno, ligeramente azulado, con un contraste superior a 10/1 y un ángulo de observación total (±90°). En conjunto, la impresión que da es mejor que la de los dispositivos descritos anteriormente. Las principales limitaciones actuales son su tiempo de respuesta algo excesivo (100 ms), que debe ser reducido a 70 ms, aunque lo adecuado serían 30 ms para suprimir cualquier fenómeno de arrastre, y el substrato de silicio que se obtiene a partir de obleas de cuatro pulgadas (cuatro por oblea) con un rendimiento en el laboratorio del 50 %. Como el precio actual de una oblea tratada es de unas diez mil pesetas, existe un obstáculo económico que debe franquearse si se quiere alcanzar el precio de venta estimado fijado en unas catorce mil pesetas para el televisor completo. Este receptor sería más pequeño que los de la competencia, del tamaño de un paquete de cigarrillos, o bien estaría dividido en una pantalla incorporada en un «reloj» y una parte de recepción + alimentación situada en un bolsillo, interconectadas ambas mediante un cable.

Esto es lo que los dinámicos industriales japoneses preparan para 1983. Aparte de la fecha precisa de comercialización, en la actualidad puede considerarse que las únicas incógnitas verdaderas son la solución que preferirá el mercado y el precio que tendrá el televisor de bolsillo, ambas sin duda estrechamente relacionadas. Aparte de esto, no existe duda alguna sobre el hecho de que la televisión de bolsillo con cristales líquidos será en un mañana muy cercano una realidad.

*Guy Labrunie.*

(6) H. Kawakami y otros, *S.I.D. conférence*, documento 54, San Diego, abril 1980.

**Blume ecología**

Esta colección quiere establecer, a través del contenido de sus textos, qué se entiende y qué no se entiende hoy en día por ecología; se propone dar a conocer autores y títulos más interesantes de su particular sector del conocimiento, y espera llegar a un público que incluya a la vez ecólogos, ecologistas, a estudiantes de ciencias biológicas, amantes de la naturaleza, y al lector medio en general.
Pretende ser todo lo rigurosa, diversa e interesante que los temas de que trata la ecología requieren y, al mismo tiempo, intenta contribuir al establecimiento de unas bases sólidas sobre las que apuntalar, en los países hispanoparlantes, la tambaleante e insegura conciencia colectiva de la gestión, el uso, la protección y el estudio del ambiente.
Formato de la colección: 13 × 19,5 cm

**Títulos publicados:**

1. **Perspectivas de la teoría ecológica**, Margalef
2. **El hombre y la biología de zonas áridas**, Cloudsley-Thompson
3. **Parques nacionales y reservas de España y Europa**, Dupont
4. **Introducción a la Zoogeografía**, Müller
5. **El teatro ecológico y el drama evolutivo**, Hutchinson
6. **Biología y ecología del suelo**, Parisi
7. **El Mediterráneo: un microcosmos amenazado**, Henry y otros
8. **El idiota espabilado —Lo verdadero y lo falso en la catástrofe ecológica**, Scorer
9. **La nueva concepción de la Tierra**, Uyeda
10. **Ambiente, energía y sociedad**, Odum
11. **Conceptos unificadores en ecología**, van Dobben (Ed.)
12. **Química ambiental: Contaminación del aire y del agua**, Stoker/Seager
13. **Recursos energéticos**, McMullan/Morgan/Murray

**Editorial Blume**
Milanesado 21-23
Barcelona-17

**Desgraciadamente si la RecA ha sido puesta en evidencia en la bacteria, no se conoce todavía ninguna proteína de este tipo en el hombre.**

# Una proteína para proteger la célula

■ ¿Qué ocurre cuando en el interior de la célula la molécula de ADN, que contiene toda la información necesaria para la vida, es alterada? La mayoría de los mecanismos de reparación del ADN son mal conocidos a nivel molecular: se sabe solamente que si las lesiones sufridas por el ADN no se reparan o se reparan mal, aparecen cambios importantes en la célula. Uno de los cambios más graves para las células animales es la cancerización, es decir, que el control de la división celular escapa a la regulación normal del organismo.

El estudio de los mecanismos de reparación del ADN es muy delicado en las células animales, de organización muy compleja y difíciles de cultivar: por esta razón, los estudios se iniciaron sobre un organismo unicelular: la bacteria *E. Coli*. Las diversas lesiones del ADN provocadas por la exposición a diferentes radiaciones, entre ellas los rayos ultravioletas, o a ciertas sustancias químicas son la rotura de una de las dos cadenas del ADN, la pérdida de un segmento de una de las dos cadenas y, finalmente, la aparición de enlaces anormales entre las bases, sub-elementos del ADN. En la bacteria *E. Coli* se conoce desde hace tiempo un mecanismo de reparación enzimático de estas lesiones: diferentes enzimas son capaces, en efecto, de reparar las roturas, de restablecer el orden exacto de las bases afectadas sobre una de las cadenas del ADN y, sobre todo, de escindir las regiones donde se han producido los enlaces anormales entre las bases. No insistiremos sobre este sistema de reparación que es el único actualmente bien conocido y que existe también en las células animales (*La Recherche* n.º 115, p. 1075, octubre 1980).

Nuestra atención se fijará en dos sistemas de reparación del ADN puestos en evidencia estos últimos años y cuya particularidad reside en estar bajo el control de una proteína llamada RecA (Rec por recombinación) ejercido según dos modalidades completamente diferentes. La síntesis de esta proteína es inducida, en la bacteria, cuando el sistema ordinario de reparación del ADN queda desbordado por la presencia de numerosas lesiones. La RecA puede representar, en cantidad, hasta el 10 % de las proteínas totales de la bacteria, proporción que resulta elevadísima. La necesidad de sintetizar esta proteína a tan alto nivel es el reflejo del papel clave que juega en la célula, y un reciente artículo aparecido en la revista *Nature*(1) ha presentado una síntesis de los más recientes conocimientos adquiridos en este campo. ¿Quién es esta proteína? ¿Cuáles son los mecanismos de reparación que controla? Los primeros efectos de la proteína RecA fueron observados en 1967, cuando Clark, en los Estados Unidos, obtuvo unos mutantes de la bacteria (portadoras de una modificación hereditaria) que se habían convertido en incapaces de realizar la recombinación. La recombinación es la asociación de dos moléculas de ADN que antes eran independientes. Su mecanismo *in vivo* no es todavía conocido. Sus efectos en las bacterias son, entre otros, ciertas reparaciones del ADN y la

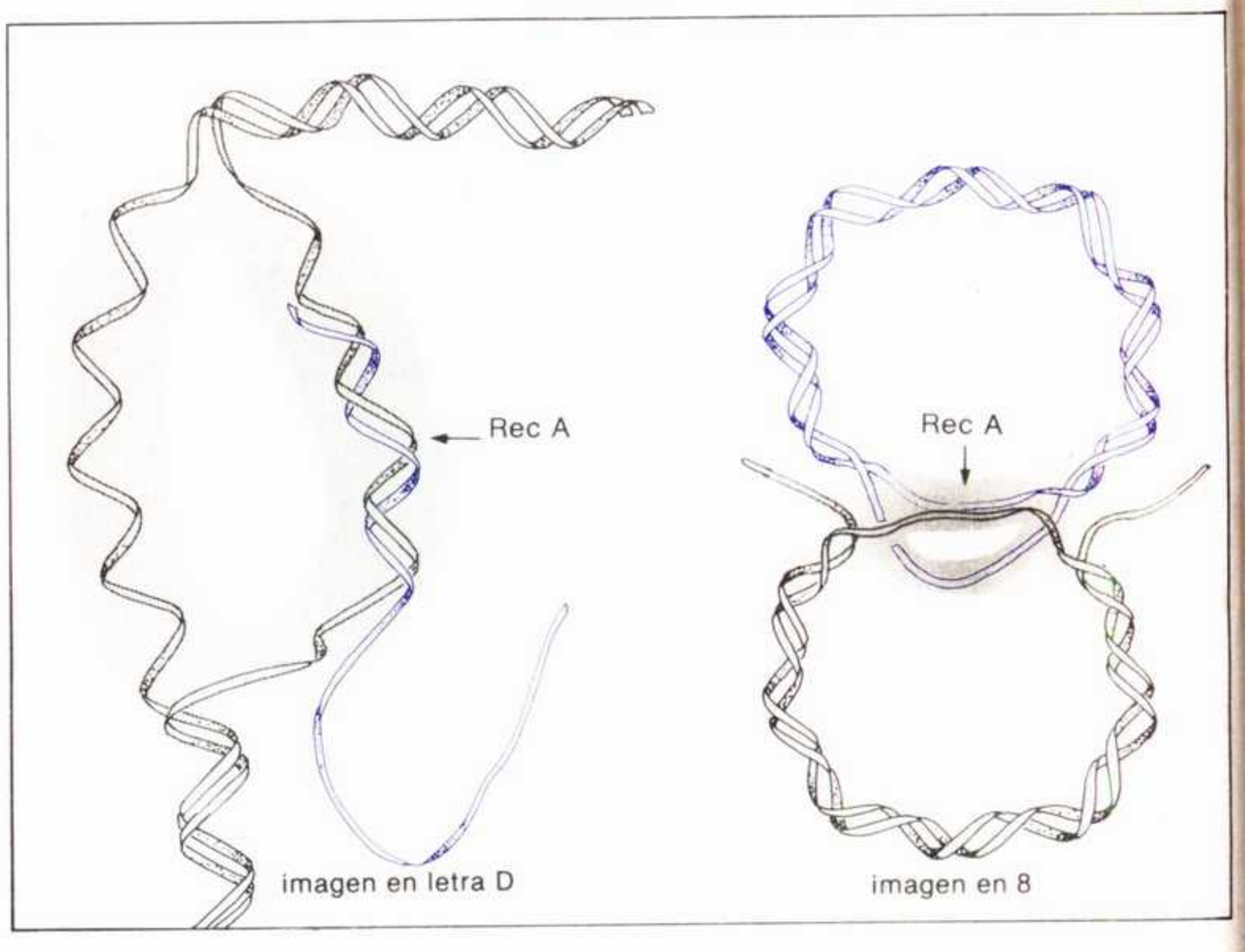



Figura 1. **Este esquema ilustra una de las funciones esenciales de la proteína RecA: su capacidad de realizar un intercambio entre dos moléculas de ADN con una región homóloga. Este intercambio se denomina recombinación. A fin de entender el modo de acción de la proteína RecA, los investigadores han observado los efectos** in vitro, **cuando la proteína, purificada, es puesta en presencia de ADN que contiene regiones homólogas. En la izquierda, se observan al microscopio electrónico las figuras en forma de letra D (flechas) (documento suministrado por T. Shibata, Universidad de Yale, USA[2]); las cadenas complementarias del ADN se abren, en presencia de la proteína RecA, permitiendo a una cadena homóloga penetrar y fijarse, gracias a la complementariedad con una de las cadenas. Según el mismo principio, si se toman dos ADN circulares con una región homóloga, se verá que se unen formando un ocho. Los investigadores piensan que estas imágenes ilustran bien el inicio del proceso de recombinación.**

(1) *Nature, 187,* 676, 1980.

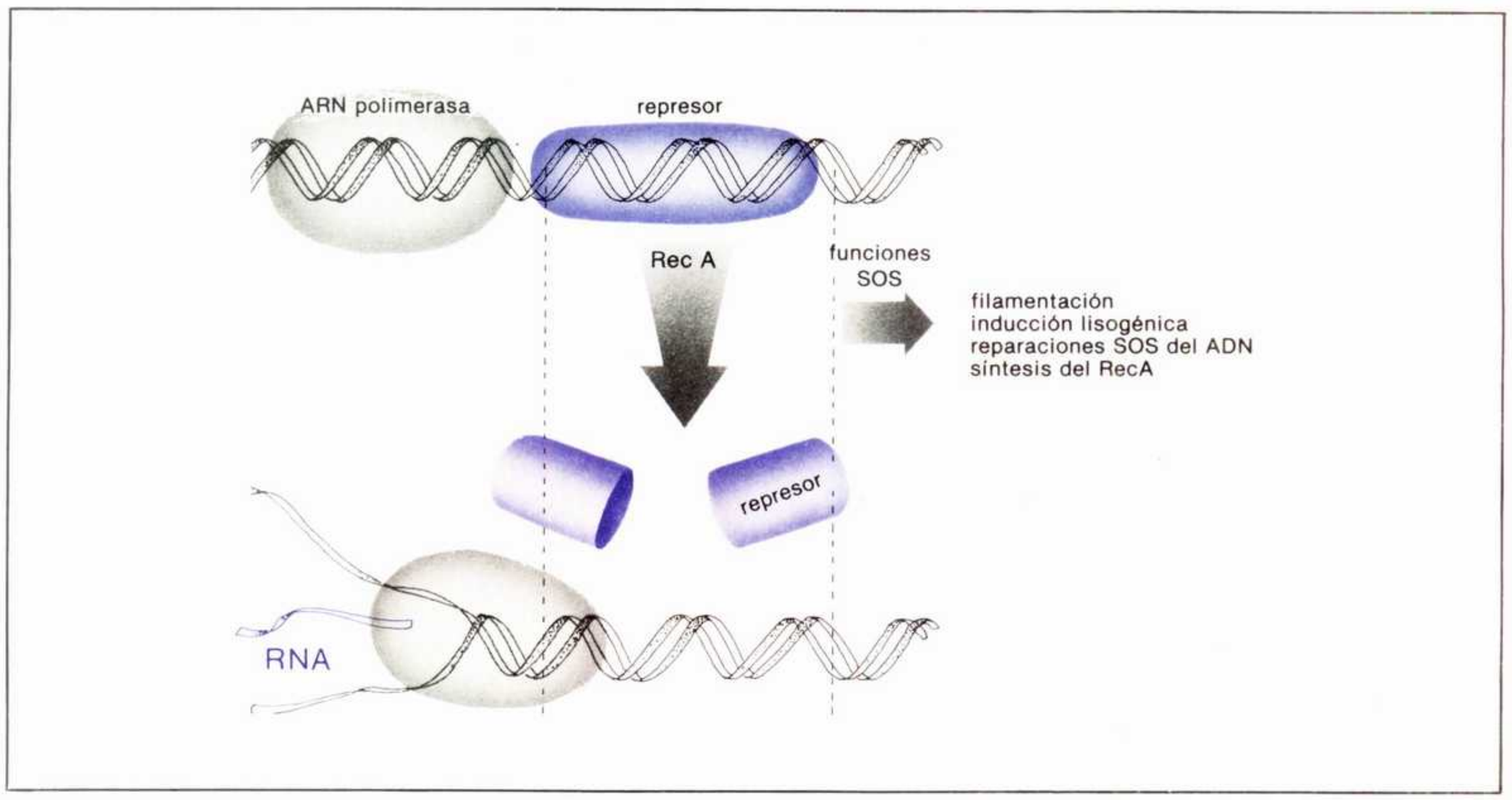



Figura 2. **La segunda función esencial de la proteína RecA es su capacidad de arrancar ciertas proteínas, llamadas represores, que están fijadas normalmente al ADN para impedir su expresión. La degradación de ciertos represores por la RecA permite la obertura de los genes o de las porciones de ADN que les corresponde. Cuando el represor ha sido arrancado, la ARN polimerasa, un enzima responsable de transmitir la información a la célula por lectura del ADN, puede empezar a trabajar (a la izquierda). Esta función sobre los represores permite a la proteína RecA poner en marcha los mecanismos llamados SOS, porque no pueden actuar hasta que el ADN ha sufrido tantas lesiones que el sistema ordinario de reparación queda desbordado. Estas funciones SOS están indicadas en la derecha. Una de ellas es la reparación SOS del ADN: a este sistema de reparación le corresponden cinco genes repartidos por todo el cromosoma bacteriano. Finalmente, por degradación del represor de su propio gene, la proteína RecA regula su propia síntesis.**

posibilidad de integrar, en el ADN de una bacteria huésped, un fragmento de ADN inyectado por otra bacteria. Este último proceso es consecuencia de la conjugación y es el esbozo de una sexualidad. Es posible detectar, en bacteriología, la recombinación después de la conjugación, y fue de este modo que Clark seleccionó las bacterias mutantes incapaces de realizar este proceso, bacterias a las que denominó RecA. No fue hasta mucho más tarde que se obtuvo la proteína RecA purificada y que sus efectos pudieron probarse *in vitro*.

Se sabe, desde hace mucho tiempo, que las bacterias RecA (deficientes en la síntesis de RecA) son, además, muy sensibles a los rayos ultravioletas. Conociendo la naturaleza de las lesiones que sufre el ADN en este caso, es probable que estas bacterias mueran porque son incapaces de reparar las lesiones de su ADN; pero estas mismas bacterias mutantes son igualmente incapaces de realizar la recombinación. Muchos grupos de investigadores han emitido la hipótesis de una reparación por recombinación en las bacterias normales, hipótesis que Rupp, en Yale, verificó en 1971 gracias al marcado radioactivo (y con isótopos pesados) de los cromosomas bacterianos que le probaron la existencia de una recombinación reparativa.

Hasta fechas recientes se sabía que este tipo de reparación era fiel (restitución exacta de la secuencia de las bases afectadas), pero nada se conocía del mecanismo molecular de la recombinación, sino que se podía observar, por microscopía electrónica, un *collage* local entre dos moléculas de ADN. Sin embargo, el proceso de recombinación reparativa, propiamente dicho, no es nada sencillo y si bien han sido propuestos numerosos modelos, son demasiado complejos para exponerlos aquí. La reparación por recombinación necesita, en todo caso, la presencia en la célula de dos moléculas idénticas de ADN, a fin de que el intercambio se traduzca en una reparación totalmente fiel. En la bacteria *E. Coli,* éste es frecuentemente el caso, puesto que el crecimiento muy rápido de este organismo, que no posee en principio más que un cromosoma, le conduce a duplicar permanentemente su ADN. Hay que subrayar que la mayoría de las lesiones presentes en el ADN bloquean la replicación y que si la célula no poseyera un mecanismo de reparación, conducirían a su muerte.

¿Cuál es el modo de acción de la proteína RecA en el momento de la recombinación? Las investigaciones realizadas recientemente por los equipos de Radding en Yale[2] y de Lehman[3] en Stanford, en los Estados Unidos, han mostrado que si se incuban, en condiciones adecuadas, una mezcla de ADN de doble cadena (molécula compuesta por dos cadenas enrolladas) y de ADN de simple cadena (compuesto por una sola cadena larga) en presencia de la proteína RecA, se observa la unión de un extremo de la cadena simple de ADN con una región del ADN de doble cadena, región en la que las cadenas del ADN doble se separan localmente (fig. 1). Esto da una imagen en forma de D, observada al microscopio electrónico que los anglosajones llaman *D-loop*. Esta imagen permite suponer el proceso molecular de iniciación de la recombinación, que necesita, al parecer, una separación local de las dos hebras del ADN habitualmente enrolladas en una doble hélice. Esta separación es posible gracias a la proteína RecA que permite a continuación que el ADN exterior venga a pegarse en esta región. Los equipos de Radding y de Howard-Flanders en Yale han observado también la unión

(2) *Proc. Natl. Acad. Sci.* EE.UU, 76, 1638, 1979.
(3) *Proc. Natl. Acad. Sci.* EE.UU., *76*, 2615, 1979.
(4) *Cell, 20,* 223, 1980.
(5) *Proc. Natl. Acad. Sci.* EE.UU., *77*, 3962, 1980.

**Gracias a dos acciones distintas y hoy en día conocidas, la proteína RecA vive una doble vida en la célula.**

de moléculas de ADN circulares, formando entonces imágenes en 8, siempre y cuando una de las hebras tenga un corte.[4,5] Estas imágenes no dan información más que del proceso de iniciación, pero no de la recombinación misma, que permanece desconocido. En este inicio de la recombinación, ¿cuál es el papel exacto de la proteína RecA? El hecho de que deba estar presente en elevada concentración y que se fije en toda la región que participa en la recombinación (tanto en el ADN de cadena simple como el de doble cadena) parece indicar que no actúa de manera enzimática sino más bien del mismo modo que la proteína 32 del fago T4, conocida por facilitar la obertura de la doble cadena de ADN por interacción directa con ella. Su presencia permite probablemente anular los factores que mantienen normalmente las dos hebras del ADN juntas en la doble hélice. Esta hipótesis no excluye, por supuesto, una acción enzimática de la RecA, que podría facilitar, por ejemplo, el que las regiones que deben juntarse para la recombinación estén bien situadas. Se sabe en todo caso que la proteína RecA para actuar necesita la energía suministrada por el ATP (adenina trifosfato, pequeña molécula que suministra la mayor parte de energía a la célula). Además, cuando se realiza el experimento en presencia de proteínas conocidas por su propiedad de fijarse sobre el ADN (proteína 32 del fago T4, la proteína SSB de *Coli*) la concentración de RecA necesaria para obtener los *D-loops* disminuye claramente. Puede pensarse que, *in vivo*, la RecA no actúa sola a este nivel.[4]

### Un sistema SOS para casos de urgencia

La función beneficiosa y de la proteína RecA es más amplia. Los bacteriólogos han estado observando desde hace tiempo que muchas otras funciones llamadas SOS (filamentación, inducción lisogénica, reparación equivocada del ADN) están inducidas en la bacteria por la proteína RecA después de la exposición a los rayos ultravioletas o a ciertos agentes químicos, conocidos al mismo tiempo como agentes cancerígenos (la respuesta SOS de la bacteria ha permitido, precisamente, convertirlo en test). Nos limitaremos aquí a la descripción de uno de estos fenómenos: el sistema SOS de reparación del ADN. ¿En qué se diferencia de la reparación por recombinación? Este sistema no interviene hasta que el número de lesiones sobrepasa un cierto umbral y cuando los sistemas ordinarios de reparación del ADN (entre ellos el sistema de recombinación) no son suficientes. En este momento, en efecto, si tiene lugar la replicación del ADN y «tropieza» con una lesión, se observa un incremento de RecA y la puesta en marcha del sistema SOS. El sistema SOS es pues inductible. Las otras particularidades de este sistema son: realizar reparaciones de bases erróneas, donde la secuencia inicial de las bases no ha sido respetada, y de poner en juego la RecA por una acción enzimática. Las reparaciones erróneas conducen a mutaciones, es decir, a cambios en el funcionamiento de la célula. En efecto, el ADN gobierna, por medio de la síntesis de proteínas, toda la maquinaria celular. Un cambio, incluso mínimo (una sola base), en su interior puede perturbar dramáticamente la síntesis de proteínas o su regulación, así como la cadena bioquímica que se desprende de ella. En consecuencia, el sistema de reparación SOS salva a la célula permitiéndole que se divida, pero perturba su funcionamiento.

Hasta estos últimos años, el papel de la RecA en la puesta en marcha del mecanismo SOS era un misterio; pero hoy se conoce en lo que concierne a la función SOS de inducción lisogénica[6] y se piensa que este mecanismo de acción de la RecA es válido para todas las funciones SOS. ¿De qué se trata? Cuando, como consecuencia de lesiones muy numerosas en el ADN, el sistema ordinario de reparación no es suficiente, se observa que la proteína RecA arranca ciertas proteínas, habitualmente fijadas en regiones bien concretas del ADN, para bloquear la expresión de los genes. Estos genes al desbloquearse podrán expresarse, permitiendo desencadenar las distintas funciones SOS. La proteína RecA es, pues, responsable de la regulación de estos diferentes sistemas, por su capacidad de arrancar, en el momento oportuno, los represores. Al descubrimiento de esta propiedad de arrancar los represores de los diferentes genes del sistema SOS, le sucedió la puesta en evidencia por Kenyon y Walter, en el *Massachussets Institute of Technology*, en 1980, de cinco genes, repartidos por el cromosoma bacteriano, que gobiernan la puesta en marcha del sistema SOS de reparación del ADN.

### La RecA controla su nacimiento

La capacidad de la RecA de arrancar los represores es utilizada, y esto es una propiedad remarcable de esta proteína, para asegurar la regulación de su propia síntesis. Little y su equipo de la Universidad de Arizona, en los Estados Unidos[7] acaban de demostrar, en 1980, que las proteínas RecA pueden asegurar la degradación, si es necesario, de una proteína llamada Lex A que es de hecho el represor de por lo menos dos genes: del gene responsable de la síntesis de RecA y del responsable de la síntesis del represor mismo, el Lex A. La proteína RecA asegura, por medio de la proteína Lex A, la regulación de su propia síntesis.

Pero esto plantea el problema de saber por qué la proteína RecA, si es capaz de degradar su propio represor, no es sintetizada en gran cantidad, permanentemente en la célula bacteriana (su acción enzimática sólo se manifiesta en casos de urgencia). Ciertos equipos ya citados y Devoret, en Gif-sur-Yvette, en Francia, han lanzado la hipótesis de una forma activada (RecAa) de la proteína RecA, que sería la única capaz de arrancar los represores.[8] Así, esta proteína aseguraría, bajo la forma no activada y por fijación directa, la recombinación del ADN y, en circunstancias excepcionales, sería activada y capaz de arrancar por medio de una actividad proteásica los diferentes represores que tenía asignados, de los que queda mucho por aprender. Juega, pues, en la célula un papel central.

Las dos propiedades principales de la RecA y sus múltiples aplicaciones —que se resumen en la figura 2— han permitido la puesta a punto de tests bacterianos de sustancias cancerígenas. El principio es simple: tomemos como ejemplo uno de ellos, el inductest, de las bacterias portadoras de ADN de un fago integrado a su ADN, en estado latente. Estas bacterias son depositadas en una placa de Petri y sometida a la acción de presuntos cancerígenos: se sabe que estos agentes crean lesiones en el ADN y provocan, al sobrepasar un límite, la activación de la RecA y en consecuencia la inducción lisogénica del fago. Los fagos formados lisan las bacterias formándose en la placa zonas visibles de lisis. La concordancia entre los efectos cancerígenos de diversas sustancias probadas en animales y su puesta en evidencia por el inductest, permiten pensar que los mecanismos que intervienen en las células animales, en la cancerización, se parecen quizás a los mecanismos dependientes de la RecA en la bacteria. Por desgracia, si esta proteína ha sido puesta en evidencia en la bacteria, ninguna proteína de este tipo es conocida en el hombre.

Tales estudios en la bacteria son, sin embargo, indispensables, en el sentido de que permiten la puesta en evidencia de procesos cuyos principios pueden conservarse en el transcurso de la evolución: quizás un día los investigadores encuentren en el hombre una proteína equivalente a la RecA.

*Mirelle Tardy-Horaist.*

(6) *Proc. Natl. Acad. Sci.* EE.UU., *75*, 4714, 1980.
(7) *Proc. Natl. Acad. Sci.* EE.UU., 77, 2819, 1980.
(8) *Biochimie, 62*, 687, 1980.

# Correspondencia

Foto: A. Grassert/Sigma

## Alegato en favor de Laborit

*A consecuencia del artículo de Marcel Blanc* **«Henri Laborit ¿un sociobiólogo desconocido?»** (Mundo Científico, *n.º 1, p. 14, 1981), hemos recibido la siguiente carta:*

Aunque es lógico que una revista científica se interese por el fenómeno Laborit, en cambio no es normal que el análisis realizado a propósito de un libro y de un film recientes sea tan parcial.

La obra de Laborit puede analizarse desde varios puntos de vista. El más evidente, pues el más extendido oculta por desgracia un juicio de valor nada apropiado, es el de biólogo «periodista y vulgarizador». El autor de estos epítetos parece olvidar que la televisión o el cine son grandes consumidores de narraciones realizadas por escritores muy mediocres. Además, sobre todo en biología, los buenos escritores no son legión. Laborit, en cambio, tiene una pluma ágil, capaz de describir con claridad los mecanismos de la vida. Para transmitir un mensaje, es necesario que éste sea simple o sea simplificado. Todo buen profesor sabe esto. Decir que los comportamientos, incluso del hombre en sociedad, tienen bases biológicas es el ejemplo tipo de un mensaje muy simple, pero que todavía está lejos de ser unánime.

Saber después hasta dónde debe llegar el discurso biológico en la explicación de lo viviente es una cuestión en la que, en el estado actual de los conocimientos, la apreciación individual juega todavía un papel importante, que desemboca a menudo en discusiones más profundas y controvertidas que las evocadas en el artículo de *Mundo Científico* (véase por ejemplo, la obra colectiva de P. Achard, «Discours biologique et Ordre Social», Éditions du Seuil), o también las actas del Coloquio de Padua (dialéctica, biología y sociedad). La originalidad de Laborit en este campo no se refiere tanto a su concepción de las relaciones entre dominante y dominado o a la lucha de clases, sino a su concepción de los niveles de organización y de utilización de la teoría de la información.

Más arriesgado, sin embargo, es el equívoco introducido por el artículo de *Mundo Científico* sobre el fundamento científico de los trabajos de Laborit. En él, se comete un error de análisis que lleva a asimilar todo un campo de investigaciones cuyo tema esencial es el de las posibilidades de ajuste activo del organismo frente a una agresión —lo que los anglosajones llaman «Coping Behavior»— a una «psicología del pánico». Se trata en el análisis de Laborit de una concepción original que ha revolucionado de modo considerable las investigaciones sobre las reacciones frente a la agresión. De manera muy simplificada, actualmente está claro que el organismo dispone de estrategias apropiadas para hacer frente de una forma activa a una situación agresiva, mientras la situación misma lo permite y su experiencia anterior no lo disuade de ella. Si es así, limitará al máximo la activación hormonal que normalmente debería resultar de la exposición al agente agresor. Esto que es cierto para los estímulos físicos lo es también para los estímulos de carácter social.

Todos estos trabajos conciernen a los mamíferos superiores, incluso primates incluidos, y tienen consecuencias importantes para el hombre, tanto en el contexto militar (V. Levine et Ursin, «Psychobiology of stress: a study of coping men», Academic Press) como en el contexto socioprofesional.

En definitiva, los trabajos de Laborit se sitúan en una corriente mal conocida, e incluso ignorada que ha renovado profundamente nuestros conocimientos sobre los mecanismos psicobiológicos de la adaptación del sujeto a un entorno cambiante y agresivo, o para decirlo en otras palabras sobre lo que algunos llaman «la homeostasis del comportamiento» del individuo en el seno del grupo, y, por último, sobre las perspectivas de las investigaciones concernientes a las enfermedades psicosomáticas. Dejaremos a Laborit la libertad de apreciar si se considera o no un sociobiólogo. Por el contrario, criticamos el subterfugio consistente en encasillar en un marco semejante una orientación de la investigación que se sitúa al margen de tales debates.

*Robert Dantzer y Michel Le Moal.*
*Laboratorio de neurobiología*
*del comportamiento*
*Universidad Burdeos II.*

*La respuesta de Marcel Blanc*
*es la siguiente:*

1) Al aparecer en una revista de información científica pluridisciplinaria y no en una tesis universitaria, es evidente que mi análisis no pretendía ser exhaustivo.

2) El entrecomillado «psicofisiología del pánico» no resume evidentemente todo el campo de las investigaciones sobre la agresión, sino que, en este caso, sólo alude a la reacción del tupaya que muere de miedo cuando se ve forzado a permanecer en presencia de un animal dominante.

3) La duda expresada en mi artículo se refería únicamente a la solidez de las pruebas aportadas por Henri Laborit para sostener su interpretación. No veo en qué esto suponía mantener un «equívoco» respecto a las investigaciones sobre la agresión.

4) Mi intención principal al escribir este artículo era poner en guardia a los biólogos sobre los sentidos profundamente distintos de la palabra «sociedad» en biología y en sociología política. Los sociobiólogos tienen precisamente el defecto de confundir ambas acepciones. Una vez más, no veo en qué el criticar a Henri Laborit desacredita sus investigaciones sobre la agresión.

Finalmente, me siento muy intrigado por la frase de los señores Dantzer y Le Moal: «saber hasta dónde debe llegar el discurso biológico en la explicación de lo viviente...» Existe una sutileza epistemológica que se me escapa...

## Controversia sobre la elección del sexo

El artículo de M. Courot (*Mundo Científico* n.º 2, pp. 205-207, 1981) exige una réplica, que limitaré al último párrafo puesto que me afecta directamente. Le estaría sumamente agradecido que publicara esta carta en nombre de la más elemental objetividad.

1) En la *p. 220* Courot escribe: «La serie de ensayos similares realizada en el Canadá no ha tenido continuidad...» Para cerciorarme de todo ello, me puse en contacto telefónico con el servicio del Dr. Lorrain (¿por qué no haberlo nombrado?), en el hospital del Sagrado Corazón, en Montreal; y me ha sido confirmado que la afirmación de Courot es *falsa* y que no hay nada de todo ello previsto.

2) «Los resultados son contradictorios» escribe Courot en la p. 220. Yo no he tenido *jamás* ninguna contradicción, a menos que se crea que existe contradicción porque únicamente la rata, de todos los mamíferos examinados actualmente, responde en sentido inverso a los demás, dando más machos en las condiciones en que los otros dan más hembras y viceversa. No veo en qué esto es contradictorio, ya que un mismo factor puede tener efectos distintos en especies diferentes. Más aún (aunque Courot se guarda bien de escribirlo), en las larvas de *Discoglossus*, la relación $(K^+/Ca^{2+} + Mg^{2+})$ en el medio es masculinizante para ciertos valores y feminizante para otros...

3) Courot cita una sola referencia mía, fechada en 1970. Omite deliberadamente citar las publicaciones recientes en las que he hecho el balance de mis investigaciones fundamentales: *Revue Canad. Biol., 36*(2). 135-177, 1977, *Ann. Biol., XVII*, 5-6, 201-239, 1978, sin contar las publicaciones en tres revistas veterinarias relativas a los bovinos: *Rev. Méd. Vétér., 153*(1), 33-40, 1977, *Le Point Vétér, 10*, n.º 50, 17-22, 1980, *Bull. Soc. Vétér. prat. France, 64*, n.º 7, 18 p. 1980, y diversas publicaciones relativas a la especie humana, en revistas médicas francesas y canadienses.

El autor opone a mi antigua publicación... una comunicación personal de Guégen relativa al cerdo, que presenta como lo más selecto y moderno de la investigación en este campo. Ahora bien, en primer lugar, nos hemos enterado de que éste es un estudio parcial sin publicar (!) y negativista. Y, en segundo lugar, Courot extiende esta negatividad al resto del reino animal. ¡Aberrante!

4) Courot desea (p. 220) que «no se eliminen demasiado los casos dudosos» en la investigación médica sobre el tema. ¿Es acaso un proceso de intenciones, apriorístico y dirigido contra quién, sin que ello se mencione? ¡Quizás, a cinco servicios hospitalarios parisinos que han abierto una consulta pública con mi método, algunos de ellos desde hace varios años, servicios cuyos responsables se encuentran entre los más eminentes especialistas en ginecología y nutrición! ¿A quién va hacer creer M. Courot que estas eminentes per-

# EQUIPO ASTRONOMICO BASICO

Con este equipo básico, podrá resolver problemas de Astronomía práctica y comprobar un gran número de fenómenos que nos presenta la más antigua y maravillosa de las ciencias.

**TELESCOPIO REFRACTOR GUICAR** de 40 aumentos. Ideal para la iniciación a la Astronomía. Para observar: Cráteres de la Luna, eclipses, anillos de Saturno, satélites de Júpiter, casquetes polares de Marte, cometas, nebulosas, manchas del Sol, etc., y además, observación de la fauna terrestre, objetos lejanos, etc.

**PLANISFERIO GIRATORIO GUICAR PARA LOCALIZAR ESTRELLAS.** Construido con material plástico inalterable a los agentes atmosféricos. Permite localizar las principales estrellas visibles en cada hora y día del año. Contiene estrellas hasta la 5ª magnitud, cúmulos estelares, nebulosas, etc. Está provisto de una escala transportadora para determinar rápidamente la posición de cualquier estrella, Luna, planetas, cometas, etc. También de interés para navegantes y excursionistas. Formato 25 cm. por 25 cm.

**EL LIBRO, INICIACION A LA OBSERVACION ASTRONOMICA Y USO DEL TELESCOPIO.** Con la adquisición del telescopio astronómico y el planisferio giratorio, **ENVIAMOS GRATUITAMENTE** este libro. Escrito especialmente por el equipo Guicar, a fin de iniciar al aficionado a base de utilizar el telescopio y el planisferio Guicar, en observaciones a simple vista y con el telescopio. Profusamente ilustrado 42 páginas, mapas de la Luna, tablas, 22 figuras, tamaño 17 por 24 cm.

**Precio del telescopio: 2.200 ptas.**
**Precio del planisferio giratorio: 775 ptas.**
**Precio del juego completo con el libro de regalo: 2.975 ptas.**

El envío se realizará contra reembolso, libre de gastos de envío en cada caso. De no quedar satisfecho, puede devolver dichas publicaciones por reembolso y le será reintegrado su importe.

Para pedidos dirigirse a:
**PUBLICACIONES GUICAR**
Apartado de Correos 66 - J
Tárrega (Lérida)


sonalidades y sus colaboradores se han lanzado a la aventura sin haberse antes informado? ¡Y que encima faltan a la objetividad!

Terminaré señalando que el tono empleado por Courot es más el de una polémica gratuita que el de un análisis científico.

En lo que a mí respecta, afirmo que, a partir de ahora, existe la posibilidad de elegir el sexo de la descendencia a través del método basado en la nutrición, y que falta por poner a punto su utilización práctica, lo que no es fácil, pero a ello *nos* dedicamos.

Reciba señor Director mis más sinceros y cordiales saludos.

*Joseph Stolkowski*
*Catedrático de la universidad de París VI.*

*He aquí la respuesta de Michel Courot.*

En el *Quotidien du médecin* del 27 de octubre de 1980, J. Choukroun afirma: «una experiencia que no está supervisada por médicos y especialistas en dietética tiene pocas posibilidades de llegar a su fin. Esto se ha comprobado en el Canadá donde se contentan hoy día con entregar unas hojas de régimen a las futuras madres y, por tanto, pronto se llegan a porcentajes de fracasos relativamente importantes»... Quizá mi interpretación de esta frase haya sido abusiva.

En primer lugar, por razones de espacio y en relación con la cuestión planteada, me he limitado a los mamíferos, en los que la fecundación y el desarrollo embrionario tienen lugar en el medio interno del apartado genital de la hembra, por tanto en un medio muy estable. El problema se presenta de forma distinta en las especies en que la fecundación y el desarrollo embrionario se operan en el medio externo: numerosos trabajos han demostrado que pueden modificarse la *sex-ratio* (trabajos de Stolkowski y de M. Jalabert, entre otros).

Es verdad que, en los mamíferos, los resultados obtenidos muestran una cierta contradicción. Efectivamente, el exceso de sodio y potasio en relación con los alcalinotérreos parece dar más machos que hembras en los bovinos (una serie estadísticamente significativa respecto al conjunto de los resultados obtenidos por Stolkowski) y en los humanos (pero siempre a partir de pequeñas series de datos que no permiten un análisis estadístico: Stolkowski y col.); por el contrario, este mismo exceso de sodio y potasio da una mayoría de hembras en la rata (Stolkowski, 1970, ref. citada en p. 223), y no modifica la relación de sexos en los porcinos (Guégen y Olivier, 1980). Todos estos datos permiten, pues, hablar de resultados «contradictorios» cuando se contempla toda la literatura científica sobre el tema en los mamíferos.

He leído con atención y conozco todas las publicaciones de Stolkowski y sus colaboradores sobre este punto. Al no poder citarlas todas por razones de espacio y también porque muchas de ellas vuelven sobre datos ya publicados, me he limitado a una de las primeras publicaciones más desarrolladas. Hubiera podido hacer otra elección de referencias, pero preciso que sólo tras haber leído todos los trabajos de laboratorio de Stolkowski publicados sobre el tema he redactado las líneas incriminadas.

En cuanto a la referencia al trabajo de Guégen y Olivier, ésta es citada como «sin publicar» por la única razón de que este trabajo acaba de ser terminado por estos autores con un número importante de datos (520 lechones), que permite un análisis estadístico apropiado. Por lo demás, todos los detalles serán dados en su próxima publicación. Esta referencia es simplemente citada como un resultado científico y técnico a añadir a este expediente complejo.

La observación sobre la eliminación de los casos dudosos se basa en la lectura de un cierto número de relaciones o análisis disponibles a toda persona que quiera estudiarlos. Es verdad que es una observación crítica, pero ¿debería no ser formulada cuando en algunas series se señala hasta un 60 % de casos descartados?

Voy a terminar expresando mi asombro y rechazo ante las últimas palabras de Stolkowski. ¿Debe considerarse un análisis objetivo y estricto de las publicaciones científicas como una polémica, porque se emitan reservas sobre las conclusiones extraídas de algunos resultados experimentales?

## ¿Hacia una biocracia?

Sr. Director de MUNDO CIENTÍFICO:

«¿Quieren los biólogos tomar el poder?», con esta pregunta terminaba el artículo que M. Blanc dedicó, en el nº 1 de MUNDO CIENTÍFICO, al sociobiólogo Henri Laborit. Dentro del nº 2, en el artículo «Genética y poder», P. Thuillier apuntaba la posibilidad de que en el futuro los biólogos «definirán las 'normas' y proporcionarán a las autoridades los medios de regular el destino humano».

Ciertos ilustres biólogos sugieren que, además de la inteligencia, hay otras características, como la estabilidad mental, la agresividad e, incluso, la superioridad, que vienen prácticamente determinadas por la herencia genética, «los genes tienen una función dominante en todos los aspectos del comportamiento humano» sentencia el Nobel M. Burnet, siendo despreciable la influencia del medio ambiente y no logrando la educación cultural mejorar sustancialmente las cosas, pues nacemos programados por los genes.

Los más atrevidos, so pretexto de ayudar a la correcta evolución de la humanidad, sueñan con someternos, mediante falacias como el coeficiente de dominancia (vulgar superchería biológica), coeficiente ético (el no va más del cinismo), amén del consabido coeficiente intelectual (hoy en entredicho); cuyo objetivo, descaradamente neorracista, es el de hacernos creer que la especie humana está naturalmente dividida en castas.

No debemos, creo, rechazar «a priori» las posibles aplicaciones que pueden tener los conocimientos biológicos en el campo de la sociología, pero, hay que vigilar para que no dé lugar a exclusivismos neorracistas. Si los biócratas toman el poder, convirtiendo al hombre en esclavo de una biología aberrante, entonces habremos caído en la más negra de las postraciones; pero es altamente improbable que esto suceda, dado lo intrincado de la psicobiología del ser humano, lo complejo de las relaciones sociales y el buen juicio de la inmensa mayoría de los biólogos.

*Ignacio Bravo Alonso.*

# Ciencia y política

## ¿Aumentan los créditos para la investigación?

La comisión de Investigación del Senado ha realizado desde finales del mes de marzo y a lo largo del mes de abril del presente año distintas entrevistas con personalidades científicas para solicitarles sugerencias que permitan establecer las coordenadas de una nueva política científica. Tanto el presidente de la Comisión de Investigación del Senado, José Baguena, como el director general de Política Científica, Marcos Rico, a pesar de que continúan abrigando serias dudas sobre el futuro de la investigación en España por la escasa porción del presupuesto dedicado a la investigación —sensiblemente inferior al resto de países europeos industrializados—, coincidieron en destacar el hecho positivo, que representa en un programa de restricciones del gasto público, el aumento de 13 mil millones de pesetas para las inversiones en investigación científica del sector público. Estas inversiones habrían pasado de 35 mil millones en el presupuesto de 1980 a 48 mil millones en el de 1981. El director general de Política Científica considera que la inclusión de parte del Plan Trienal de Financiación de la Investigación en el Plan de Inversiones «supone un demás países europeos». En concreto, añadió, «este año se dedican en la sección 3L del presupuesto 6 500 millones de pesetas para financiar programas de investigación científica e información de base». España ha participado asimismo en la reunión de ministros responsables de la política científica de la OCDE, celebrada en marzo en París. Los objetivos esenciales que se ha marcado la conferencia de París han sido «la integración de las distintas políticas en la acción gubernamental, y, en particular con las políticas económicas, industrial, energética y social, así como las políticas de educación en el trabajo». Para el director general se impone la necesidad de «establecer unas prioridades en investigación científica, a fin de poder dedicar la mayor parte de los ingresos al desarrollo de un sector de la ciencia, única forma de poder lograr unos resultados que redunden en beneficio de la comunidad».

¿Mantendrá el nuevo gobierno ante los pactos para lograr una nueva concertación económica en la lucha contra el paro —que prevén un aumento del gasto público— una política científica de auspiciar la investigación de base y aplicada?, o ¿se inclinará por favorecer la compra de tecnologías extranjeras aumentando así nuestra dependencia exterior? Una incógnita que pronto quedará despejada.

## ¿Una vacuna contra el cáncer?

Las investigaciones para lograr la síntesis de productos químicos y farmacéuticos aptos para la lucha contra el cáncer prosiguen día a día. Tras el entusiasmo suscitado por el interferón a finales de la década de los cincuenta y puesta en tela de juicio, al menos en cuanto se refiere a sus éxitos inmediatos, en fechas recientes (V. *Mundo Científico*, n.º 1, pp. 16, 17 y 18), ha seguido con el descubrimiento sucesivo de drogas anticancerígenas (V. *Mundo Científico*, n.º 3, pp. 256-257). En el congreso sobre quimioprevención del cáncer, celebrado en febrero-marzo de 1981, en Daytona Beach, Florida (EE.UU.), Frederick Moolten, profesor de Microbiología en la Universidad de Boston, acaba de presentar sus recientes experiencias con ratones, que ponen de manifiesto la capacidad del selenio para inhibir el desarrollo del cáncer de pecho. Moolten ha preparado una vacuna, basada en la síntesis del selenio que ha dado resultados muy positivos en la prevención del cáncer en animales de laboratorio, y que permite auspiciar aplicaciones posteriores en el hombre. En realidad, la vacuna no actuaría contra las células cancerígenas, sino que inhibiría el proceso del cáncer provocado por ciertas sustancias, al inducir la creación de anticuerpos que neutralizan la acción posterior de las sustancias cancerígenas. Estas últimas se encuentran con relativa abundancia en el medio ambiente o son productos de la combustión, del tabaco y de la ingestión de alimentos cocinados, y forman compuestos conocidos como hidrocarbonos aromáticos policíclicos. Las experiencias de Frederick Moolten arrojan un rayo de esperanza en la ardua lucha contra el cáncer.

## Una corona para el mejor físico «psi»

Los medios de comunicación de masas (prensa, radio, televisión...) suelen otorgar especial atención a las manifestaciones públicas relacionadas con los llamados fenómenos «paranormales» como lo demostró en su tiempo el fenómeno Uri Geller. En estas circunstancias, las declaraciones favorables, cuando provienen de científicos entusiastas, se toman a menudo como garantías de autenticidad («¡Si lo dice la Ciencia, es que tiene que ser verdad!»). ¿Qué decir entonces del coloquio que se celebró en Córdoba en octubre de 1979, en el que se reunieron una pléyade de físicos de reconocida valía con el objeto de discutir los fundamentos físicos de los fenómenos «psi», sino que era una especie de conjunción oficial entre la ciencia y lo irracional? No debe pues extrañarnos que, a lo largo de 1980, innumerables artículos de prensa y emisiones de radio hayan citado reiteradamente este hecho (V. *La Recherche*, n.º 111, p. 582, 1980). En Francia, por ejemplo, se constituyó en 1978, a raíz de las polémicas surgidas en torno al fenómeno Uri Geller primero y Girard después, un Comité para el estudio de los fenómenos paranormales. Este comité, formado por investigadores, universitarios y periodistas científicos, se plantea como mínimo que la opinión pública y los mismos profesionales puedan escuchar otra voz en lo que se refiere a lo paranormal.

Recientemente, este comité tomó una iniciativa humorística: instituir un premio anual, llamado «premio al Rey de los Magos» otorgado como recompensa «al científico que mejor hubiera divagado por los senderos de lo paranormal». El 28 de enero de 1981, el jurado se reunió en París, y tras sopesar los méritos incontestables de los distintos candidatos, designó ganador «tras catorce días de escrutinio y juegos de manos» al profesor Olivier Costa de Beauregard. Este físico, conocido por sus trabajos de física teórica, ha merecido la atención de los medios de comunicación desde el coloquio de Córdoba, pues él sostiene que las fórmulas de la mecánica cuántica implican que se pueda «telegrafiar al más allá», y autentificar así los poderes «psi» de los videntes extralúcidos. Como premio, el galardonado recibió, lógicamente, una bola de cristal —de plástico, de cualquier manera: el cristal resulta fuera de... ¡precio!— con una invitación a proseguir en el terreno experimental unas investigaciones desarrolladas con tanta brillantez en el plano teórico.

## ¿Invertirá Gran Bretaña en el espacio?

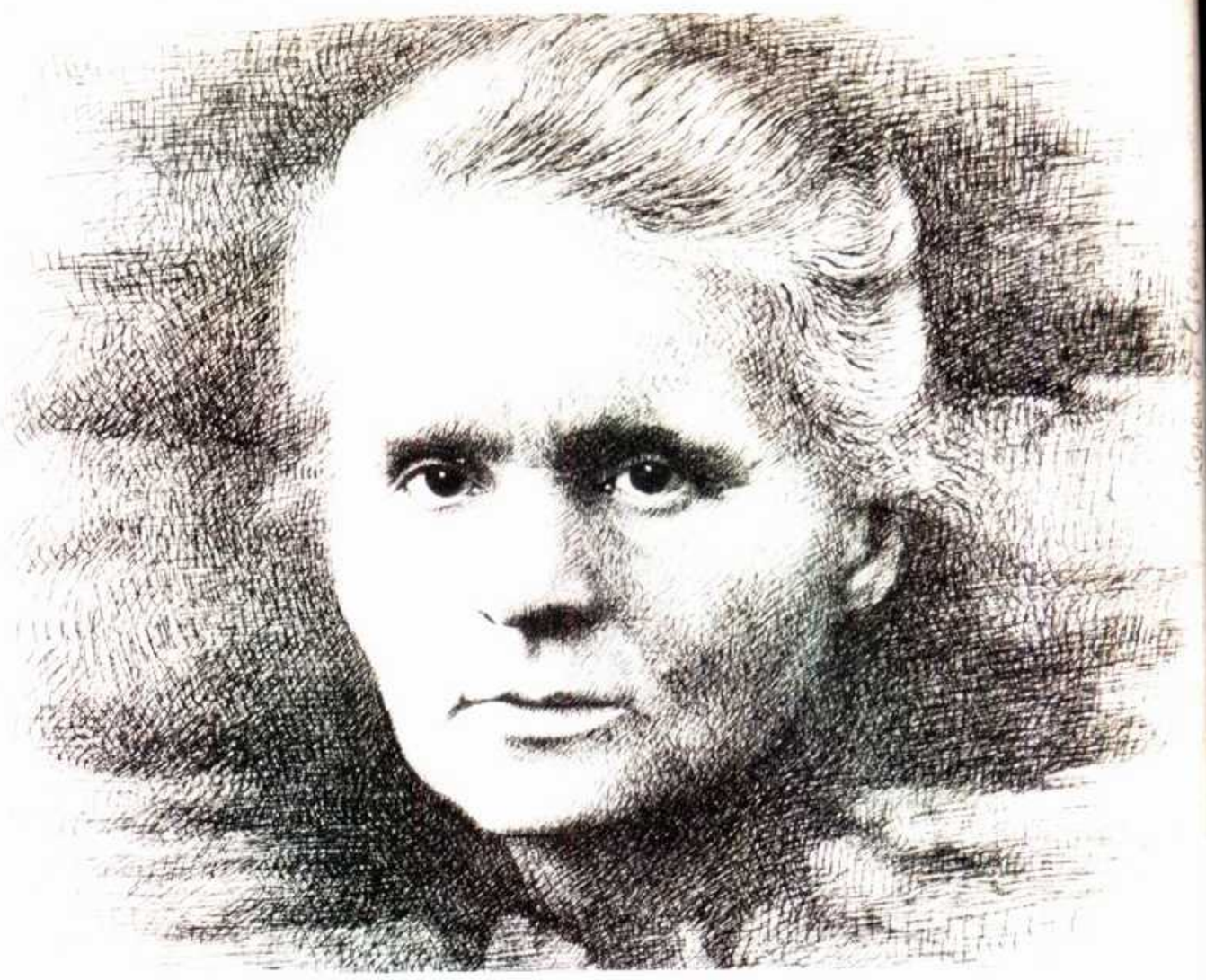
Gran Bretaña se había negado siempre a lanzar un gran programa nacional espacial: los aspectos científicos del espacio están a cargo del Science Research Council, mientras que su participación en la Agencia espacial europea le permite figurar en proyectos de satélites de aplicación. Esta coyuntura ha evolucionado en el último año. Las perspectivas que ofrecen los satélites de telecomunicación, por una parte, y el temor de que una indiferencia demasiado acusada hacia las técnicas espaciales haga perder posiciones a su industria, son sin duda causas que han estimulado el interés hacia el espacio. Dos he-

chos importantes certifican este cambio de actitud. En noviembre pasado, el «Central Policy Review Staff», un comité de evaluación y de prospectiva asesor del primer ministro (dirigido hasta hace no mucho tiempo por Lord Rothschild) remitió al gobierno un informe sobre la política espacial. Este informe, todavía confidencial, se sabe que aboga por una mayor participación de Gran Bretaña en las aplicaciones del espacio. Por otra parte, se creó un comité interministerial dependiente del ministerio de industria para coordinar más eficazmente la política espacial. De lo que se trata en realidad es de llevar a la industria británica a entrar más de lleno en el campo de las técnicas espaciales, en particular las que se refieren a los satélites y a las telecomunicaciones. El ministerio de industria quiere hacer desaparecer el monopolio que ejerce el Post-Office sobre la utilización de los satélites de telecomunicación, para permitir a los industriales el libre acceso a este sector.

## ¿Existe movilidad profesional entre los científicos americanos?

La movilidad del personal de investigación es un tema de política científica muy en boga en todos los países industrializados. Estados Unidos se preocupa desde tiempo atrás por la cuestión; una encuesta reciente de la National Science Foundation (NSF) arroja algo de luz al respecto. Ésta estudió la movilidad de los científicos e ingenieros americanos que trabajaron en la investigación aplicada en el período 1972-1978. Fueron encuestados, para este estudio, 50 000 investigadores e ingenieros en 1972, 1974, 1976 y 1978. El estudio demostró que la cuarta parte de las personas empleadas en la investigación en 1972 habían cambiado de empleo en 1978; las cuatro quintas partes de este movimiento cabe atribuirlas a trasvases desde la investigación hacia la administración o la gestión. La movilidad entre distintos sectores de investigación, si existe, no parece ser considerable. Los temáticos registran en este aspecto la tasa más elevada: las dos quintas partes cambiaron de empleo entre 1972 y 1978, convirtiéndose en su mayor parte en informáticos; los psicólogos presentaron la tasa más baja. Por su parte, los ingenieros experimentan un grado de movilidad menor que los científicos. Más que las estadísticas, un análisis simple nos revela que la categoría más joven (científicos por debajo de treinta y cinco años) es la que resulta más móvil (5,7 % anual), mientras que aquellos que sobrepasan los cuarenta y cinco años son los menos móviles (tasa anual media del 3,7 %). También existen grandes diferencias en relación al sexo; el 35 % de las mujeres interrogadas habían cambiado de situación, sólo el 26 % para los hombres. La cualificación de los científicos desempeña también un papel importante: los que tienen el grado de doctor son más estables que los que no lo tienen.

En general podríamos decir que los resultados de esta encuesta de la NSF no difieren gran cosa de los que se obtuvieron en el período 1968-1972. Ahora bien, los grados de movilidad entre grupos profesionales sí han cambiado: por ejemplo, los más estables en 1968-1972 son los que en 1972-1978 aparecen como más móviles. Parece que la mano de obra científica en Estados Unidos se adapta en un plazo de tiempo largo a las condiciones cambiantes del mercado de empleo científico.



## El carisma de Marie Curie en Francia

Los científicos han sorprendido a los historiadores: el primer lugar del *hit-parade* de la historia de Francia lo ocupa Marie Curie. En su último número, la revista l'*Histoire* (n.º 33, abril 1981) se interrogaba acerca de las celebridades nacionales de los franceses. En diciembre último, encargó al instituto Louis Harris-Francia que «explorara las imágenes que marcan la memoria colectiva de los franceses, según su sexo, edad, grupo social, opción política y nivel de instrucción». Este sondeo permite establecer comparaciones con otra encuesta llevada a cabo por el IFOP en junio de 1948 y octubre de 1949. La figura del científico no cambió en treinta y dos años; incluso mejoró sensiblemente. Así pues, a la pregunta «si usted pudiera conversar con un personaje de la historia de Francia durante una hora, ¿a quién escogería?» el 5 % de los votos correspondió a Pasteur (total de veces que figura en primer o segundo lugar), idéntica puntuación a la que obtuviera en 1948, mientras que el 3 % fue para Marie Curie (el uno por ciento hace treinta y tres años). La pregunta era abierta, es decir, no se sugerían nombres entre los que escoger. Jean Lecuir, profesor de historia moderna de la Universidad París-X Nanterre comenta así este resultado: «La era nuclear coloca a Marie Curie al lado del científico "bienhechor de la Humanidad" (Pasteur)», ambos como símbolos de una visión de la historia que otorga a Francia el papel de vanguardia en los avances de la ciencia. La pregunta n.º 4 es la más reveladora: ¿quién resulta más simpático a los franceses? En esta ocasión debía escogerse entre una lista de nombres, en la que figuraba Marie Curie como única representante del mundo científico. Jean Lecuir comenta: «Igual que en 1949, el personaje que simboliza el saber científico al servicio de la humanidad suscita una mayor simpatía; un francés de cada dos; Pasteur obtuvo el 48 % en 1949, y en 1980 Marie Curie un 53 %» (ésta es la mayor puntuación absoluta, por delante de Juana de Arco —31 %— y Clemenceau —26 %—). «¿Cómo interpretar estas preferencias? La importancia que adquirieron sus trabajos sobre la radiactividad en la vida cotidiana (desde la energía hasta la medicina) refuerza una notoriedad innegable que ya existía. Pero la elección inconsciente es ante todo un rechazo: rechazo a los nombres con connotaciones en el mundo de la política, de los conflictos y de las controversias. El saber científico positivo se impone a todos. El hecho de que sea una mujer pone de su parte, masivamente, a las francesas (61 %, en vez del 45 % de los hombres) que al escogerla reafirman, de alguna manera, su papel en la sociedad.»

## Suecia protege su esfuerzo de investigación

Suecia no ha escapado en estos últimos años a las dificultades de orden económico y financiero que atraviesan la mayoría de países europeos (inflación del orden del 14 %, déficit presupuestario, etc.). Por este motivo, la coalición en el poder se ha esforzado en reducir el gasto público. La investigación científica ha sido respetada hasta ahora en todas las reducciones presupuestarias, y el gobierno sueco ha mantenido esta actitud favorable en el proyecto presentado para 1981/1982, publicado a principios de año. La investigación se beneficiará de un aumento presupuestario más bien débil (2 400 millones de pesetas), pero que permitirá a los centros de investigación públicos mantener su nivel de actividad. El aumento medio de los gastos de los cuatro principales consejos de investigación suecos (equivalentes a organismos como el CSIC) viene a ser el del 9 %, siendo el Consejo de ciencias naturales el que registra un mayor aumento de créditos (alrededor del 12 %). Por otra parte, Suecia aumenta de forma muy significativa sus gastos de investigación espacial: el presupuesto de la agencia espacial sueca pasa de 3 500 millones de pesetas a 4 800 millones de pesetas; una gran parte de estas inversiones están destinadas a la construcción del primer satélite artificial sueco «Viking», que será puesto en órbita por el cohete Ariane en 1984.

Suecia ha conseguido mantener un crecimiento en términos absolutos de su esfuerzo de investigación-desarrollo en el transcurso de los años setenta (un promedio del 2 al 3 % anuales), puesto que considera que la investigación científica forma parte de una estrategia para su desarrollo a largo plazo. Sobre esta idea existe amplio acuerdo en Suecia, y estudios prospectivos sobre las tendencias de la investigación y de la tecnología, como los realizados hace un año por la Academia de Ciencias Aplicadas (IVA) han contribuido a hacerla progresar.

EX LIBRIS Scan Digit

The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

# Ecosistemas del Coto de Doñana

por Francisco García Novo

**Francisco García Novo** es catedrático de Ecología de la Universidad de Sevilla y ha centrado sus investigaciones en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres. Desde el año 1970 se ha dedicado a los estudios ecológicos del Parque Nacional de Doñana.

**El Parque Nacional de Doñana se crea en 1969 en la margen derecha del río Guadalquivir, junto a su desembocadura, con una extensión de 37 000 ha.**

**En 1978, se amplía hasta 77 260 ha (50 720 de parque y 26 540 de preparque), incluyendo un gran sector de las marismas del Guadalquivir, casi 30 km de costa arenosa, con su sistema de dunas móviles y un paisaje de lomas suaves, cubiertas de matorral y bosque, que reciben el nombre de «cotos».**

**Famoso cazadero durante muchos siglos, de ellos toma el nombre de «Coto de Doñana, lugar privilegiado de la naturaleza, donde se conservan numerosos ecosistemas que albergan una excepcional riqueza de especies animales y vegetales.**

La importancia del Parque Nacional de Doñana (V. fig. 2) como área natural radica en la diversidad de ambientes (ríos, marismas, playas, fondos marinos, dunas, arenales, lagunas, esteros) que, unida a la buena conservación de sus ecosistemas, da lugar a una riqueza biológica no común en nuestras latitudes para un territorio de estas dimensiones (150 especies de aves, 35 de mamíferos, 19 de anfibios y 700 especies de fanerógamas), riqueza que se hace patente en nuevos grupos a medida que son descubiertos y estudiados a fondo (coleópteros acuáticos, crustáceos, fitoplancton).

Doñana es una interfase o área de encuentro entre varios mundos biológicos: mediterráneo y atlántico, eurasiático y africano; fluvial, terrestre y marino. No destaca Doñana por los endemismos (especies exclusivas), sino por la coexistencia en un ámbito pequeño de organismos cuyas áreas suelen estar muy alejadas y cuyos límites de distribución pasan por el parque o tienen allí importantes poblaciones relictas.

Verdadero endemismo es la pequeña linaria de Doñana, *Linaria thursica,* descubierta en 1978 por los profesores Benito Valdés y Baltasar Cabezudo del departamento de Botánica de la Universidad de Sevilla. Las especies más características: águila imperial, lince ibérico, focha cornuda, calamón, no son exclusivas de Doñana pero encuentran allí uno de sus últimos reductos. Para otras especies importantes de nuestra fauna, como el meloncillo, la espátula y otras garzas y el flamenco, el parque es refugio de las poblaciones mayores que subsisten.

Otro rasgo que ha dado fama a Doñana se opone en cierto modo a su diversidad: la abundancia (a veces abrumadora) de individuos en algunas especies.

Las aves acuáticas se congregan en las marismas durante el invierno por decenas y hasta cientos de miles de patos (real, cuchara, friso), cercetas fochas y otras especies como gansos, pollas de agua, gaviotas, limícolas. (V. fig. 1) Mucho más impresionantes por su elegancia y su tamaño son los flamencos (hasta diez y trece mil) (V. fig. 3) y las garzas (real, espátula, garceta, picabueyes, martinete), con la imagen inolvidable de

Figura 1. **La inundación invernal convierte a la marisma en un mar azul y a las zonas ligeramente más elevadas («vetas») en islas. Con el agua, la misma marisma cobra vida tras la muerte aparente de la sequía estival, y la vegetación, «castañuela» y «ballunco», inicia su crecimiento a la espera de cientos de miles de aves acuáticas (gansos, patos, cercetas, limícolos y otros muchos), que acudirán para aprovechar la elevada productividad primaria del ecosistema marismeño.**

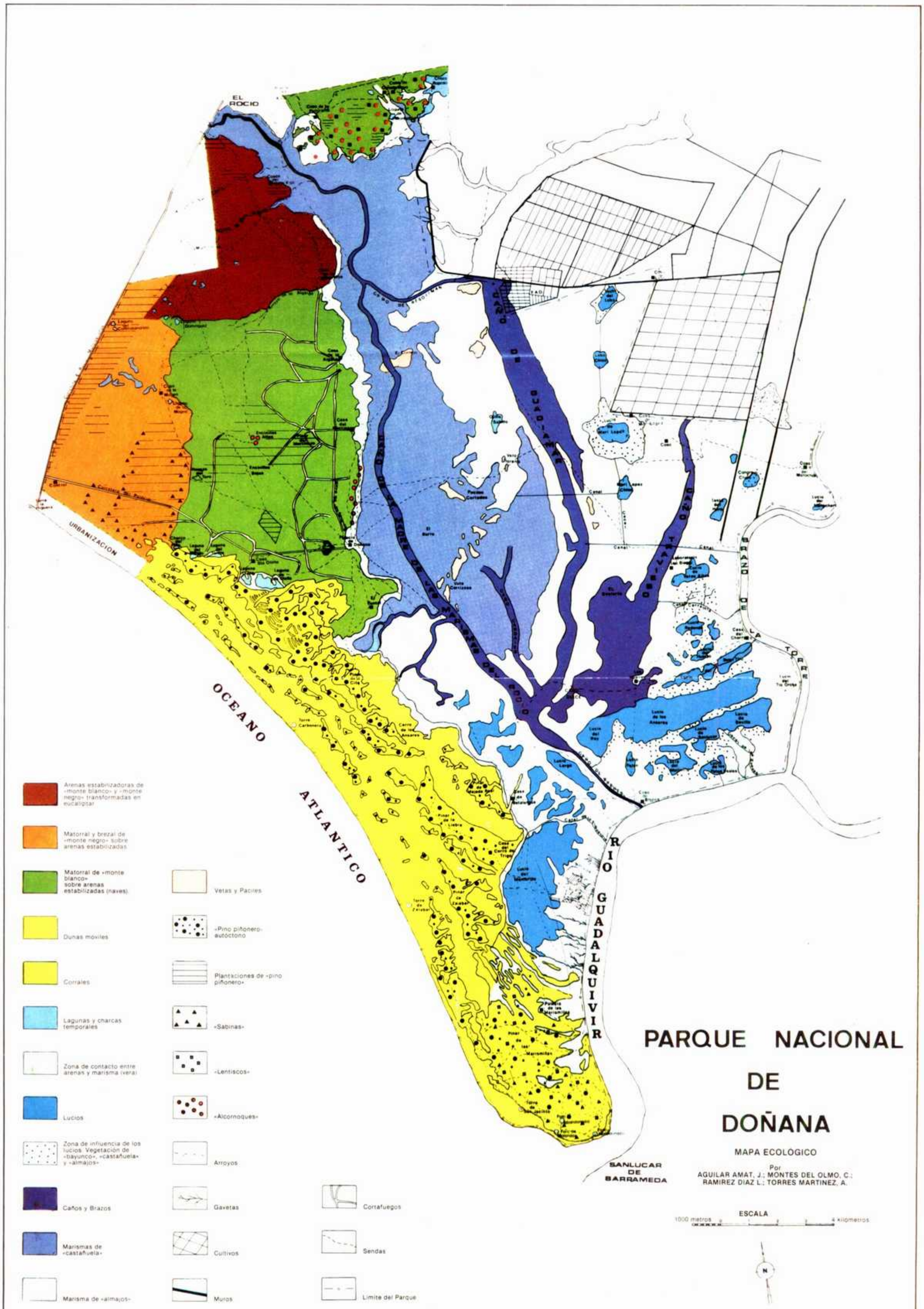



Figura 2. **En este mapa del Parque Nacional de Doñana se observa como contrasta la enorme extensión de la marisma con el resto del Parque. Se aprecia, asimismo, como las dunas vivas del litoral han avanzado sobre la marisma y los cotos, invadiéndolos. A excepción de grandes riadas, el río Guadalquivir no aporta sus aguas a la marisma del Parque.** (J. Aguilar Amat, C. Montes del Olmo, L. Ramírez Díaz y A. Torres Martínez «Parque Nacional de Doñana. Mapa Ecológico», ICONA, Madrid, 1979.)

**Cigüeñas, anátidas, procedentes de Europa, África y otros puntos de la Península Ibérica se dan cita en grandes cantidades en Doñana, en invierno y primavera, para explotar su gran productividad primaria.**

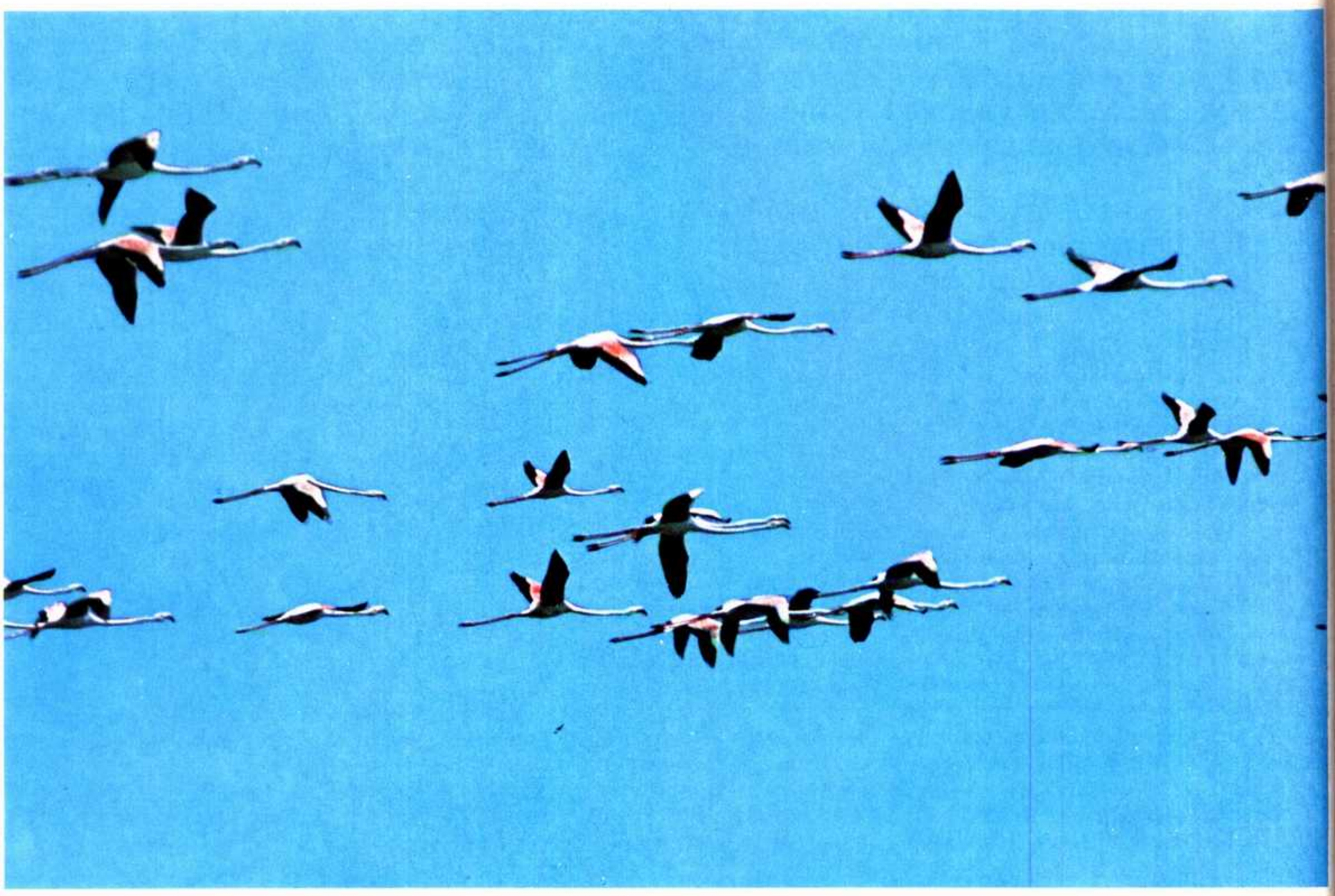


Figura 3. **Los flamencos constituyen uno de los espectáculos maravillosos de Doñana, aunque sólo con muchas dificultades consiguen criar en el Parque** (Foto X. Ferrer.)

sus colonias de nidos (pajareras) en árboles grandes a orillas de la marisma.

Esta sobreabundancia de aves acuáticas tiene una raíz ecológica interesante: del norte de Europa (como los gansos), de África (como las cigüeñas), o de la región (como muchas anátidas), se dan cita en las marismas durante el invierno y primavera para explotar su enorme productividad primaria neta en forma de rizomas, amiláceos de castañuela, semillas de *Scirpus* y *Zannichellia palustris*, esporangios de *Chara* o, como productividad secundaria, en forma de crustáceos planctónicos, larvas de insectos e incluso peces.

El contraste violento entre la marisma invernal inundada verde, productiva y llena de vida, y la marisma estival seca, cuarteada y desolada, constituye un Doñana cambiante que sigue los pulsos del año en una transformación inagotable. (V. fig. 4) Frente a ella se extiende otro Doñana estable, maduro, poco cambiante, formado por el bosque y el matorral de los cotos.

Figura 4. **Al cesar las precipitaciones y secarse los emisarios que aportan sus caudales a la marisma, ésta se torna un desierto sin vida aparente, constituyendo un medio bastante hostil para las especies que no pueden emigrar o conseguir un estado resistente o de latencia.**

### Los cotos

Doñana se origina geológicamente a partir de dos formaciones: una depre-

sión con repetidas subsidencias (la marisma), donde desembocan varios ríos (Guadalquivir y Guadiamar y otros menores), y una extensa llanura emergida (los cotos), sobre la que se han desarrollado repetidamente mantos de dunas. Los cambios de nivel del mar, los movimientos verticales de la costa y las fluctuaciones climáticas han hecho que la extensión relativa de dunas y marisma y la situación de la línea de costa variasen ampliamente. En etapas donde la corriente costera O-E del litoral onubense aportara gran cantidad de arenas, la marisma tendería a quedar aislada del mar mediante una barrera litoral de dunas. Ésta sufriría un arrasamiento tras un cambio eustático o un movimiento vertical de subsidencia para reconstruirse más allá. El proceso se ha repetido de forma incesante, al menos desde el final del último período glaciar (Weischel), hace unos quince mil años. La morfología dunar, los sondeos realizados y el estudio de los depósitos turbosos muestran esta alternancia entre dunas móviles y estabilizadas, depósitos estuarinos y marinos de la marisma, transgresiones de las dunas sobre la marisma y viceversa.

Figura 5. **El sistema de dunas móviles constituye una impresionante barrera costera de dunas, que progresa hacia el interior desde la playa. En el fotograma vertical, las arenas (en blanco) se extienden sobre el matorral desde los «cotos», arrasándolo a su paso. Entre las dunas sucesivas, se aprecian zonas grises con vegetación; son depresiones húmedas, conocidas localmente como «corrales».**

### Morfología actual

El complejo de arenas de Doñana presenta en la actualidad tres zonas contrastadas: el «sistema de dunas móviles», las «arenas estabilizadas o cotos» y «el médano del Asperillo».

El «sistema de dunas móviles» es una impresionante barrera costera de dunas de 25 km de longitud y anchuras de 5 km y altura máxima de 30 y hasta 50 m (V. fig. 5). La morfología es típica de «dunas transgresivas» que va avanzando desde la playa al interior, en frentes de hasta 2 km de anchura. Las dunas, con un talud de avance de 36 a 38° y 5 a 15 m de altura, presentan una larga cola de 500 a 1 500 m, de superficie muy tendida (1 a 2°). (V. fig. 6) Entre las dunas sucesivas, queda una depresión de fondo plano, situada a pocos metros del nivel del mar, denominada «corral» o «valle dunar». Tal tipo de estructura —dunas transgresivas paralelas que delimitan entre ellas valles planos— es común a otros sistemas dunares del mundo, donde los corrales reciben los nombres de «slacks» o «gegenwällen».

Figura 6. **El frente de la duna invade el corral enterrando los pinos piñoneros, cuyas copas toman el singular aspecto de matorrales que se aprecia en la fotografía. Si el frente es más alto, la copa semienterrada acaba por morir. Los frentes pueden progresar 2 m/mes, aunque normalmente lo hacen a razón de 5 a 6 m/año.**

### El médano del Asperillo

Este nombre corresponde a un poderoso cordón de dunas, paralelo a la costa que ocupa un sector de unos 15 km al oeste del parque (y fuera de él). Formado por grandes dunas transgresivas, mucho mayores que las conservadas en el parque, es un mudo testigo de las numerosas pulsaciones que recorrieron las arenas en ciclos de avance y estabilidad durante los últimos miles de años. Los ecosistemas originales (probablemente bosque de enebro y sabina), han sido alterados por el hombre, que ha ensayado una fracasada repoblación de piñonero. El Asperillo todavía conserva muchas especies interesantes que comparte con el parque (linaria de Doñana, lince, alcotán, milano, y muchas otras). Sus formas, de modelado vigoroso, se precipitan bruscamente sobre la costa atlántica, mediante un impresionante

**La morfología de los «cotos» está constituida por un paisaje de lomas suaves con un substrato arenoso, ocasionalmente salpicado de lagunas.**

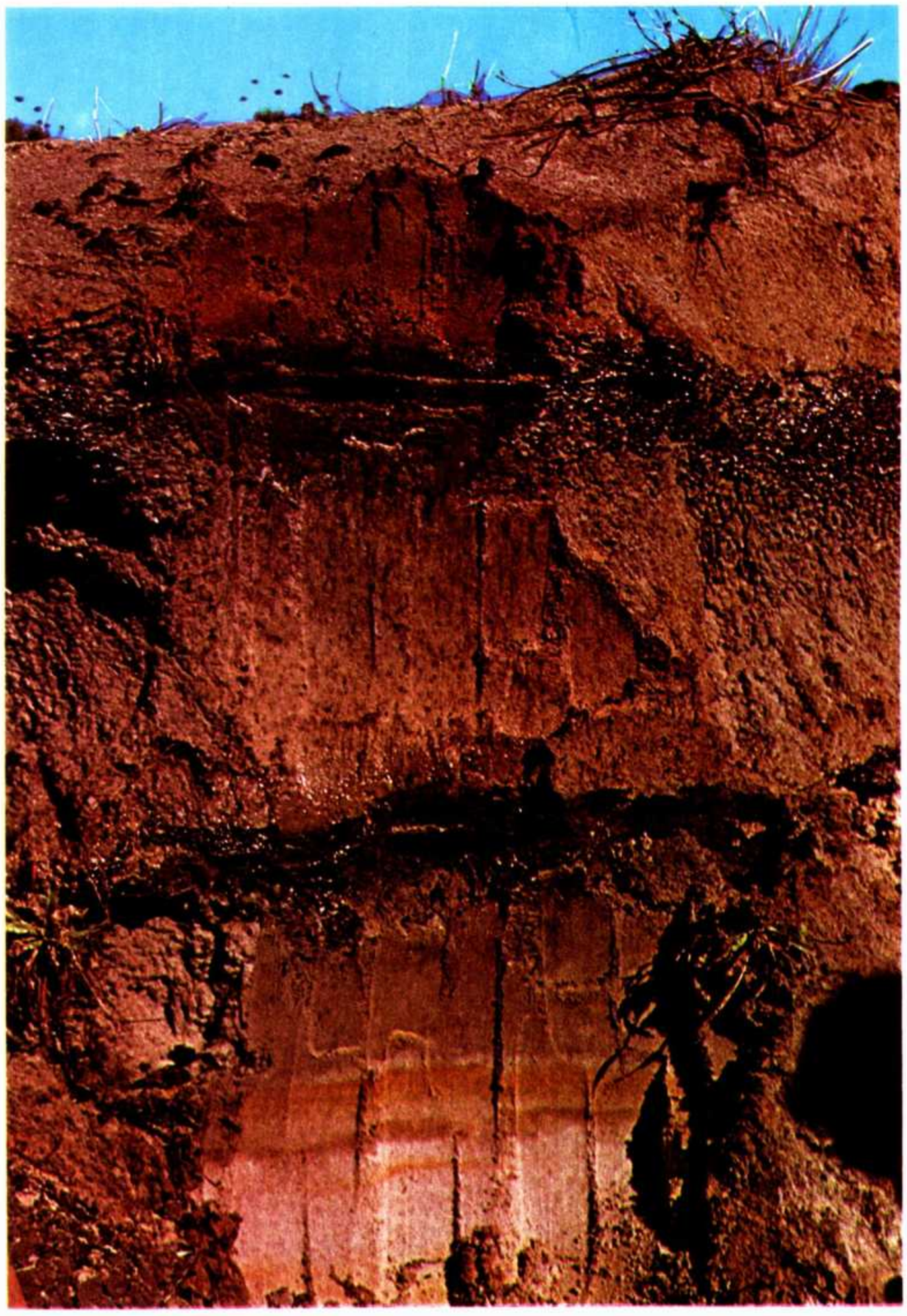


Figura 7. **Bajo las arenas del Asperillo, se conservan depósitos turbosos, formados en lagunas someras o suelos encharcados durante los últimos treinta mil años. El estudio del polen de tales depósitos ha permitido trazar a grandes rasgos la historia de los ecosistemas de Doñana.**

acantilado que alcanza los 30 m de altura en un paisaje solitario y atractivo, que merecería, sin lugar a dudas, algún grado de protección.

Las «arenas estabilizadas» o «cotos», tercer elemento del complejo de arenas, ocupan el oeste del parque, se extienden mucho más allá por todo su entorno y forman un paisaje de lomas suaves con substrato arenoso, ocasionalmente salpicado de lagunas. Está ocupado por ecosistemas de matorral con escasos rodales de bosque y parcelas de piñonero repobladas durante este siglo. El estudio de la morfología muestra que las lomas corresponden a grandes dunas parabólicas que se desplazan desde el sudoeste al interior en varios ciclos de actividad, y que tales estructuras antiguas han sufrido un cierto arrasamiento, debido a posteriores procesos de dunización local y a los habituales agentes del modelado (remoción masiva, lavaje, incipiente desarrollo de una red de drenaje). Las lagunas y charcas temporales aparecen asociadas a frentes de dunas destacados, cuyo nivel freático descarga por su base alimentándolas. En ocasión de grandes precipitaciones, la elevación general del nivel da lugar en último término a que las lagunas se comuniquen para constituir un rosario sobre un cauce ancho y superficial, que encuentra su destino final vertido por los «caños» (emisarios) en la marisma.

Las arenas de las dunas móviles del Asperillo (arenas estabilizadas de «cotos») son arenas eólicas finas (un 80 % entre 0,2 y 0,05 mm), compuestas predominantemente de cuarzo, con algunos minerales pesados (ilmenita, rutilo) (véase fig. 7). La morfología del relieve es siempre dunar y presenta ligeras diferencias de orientación gracias a la intensidad de los vientos causantes de sus pulsaciones.

El marco dinámico, de permanente destrucción y reconstrucción, nos muestra los tres elementos (dunas vivas, Asperillo, cotos) como tres facies de un proceso, tres estadios o encuadres de los ecosistemas que han estado presentes en el área. Si se comparan los tres complejos, podemos reconstruir una imagen de su sucesión en el tiempo y podremos trazar la *historia ecológica* de estos ecosistemas en el Parque Nacional de Doñana.

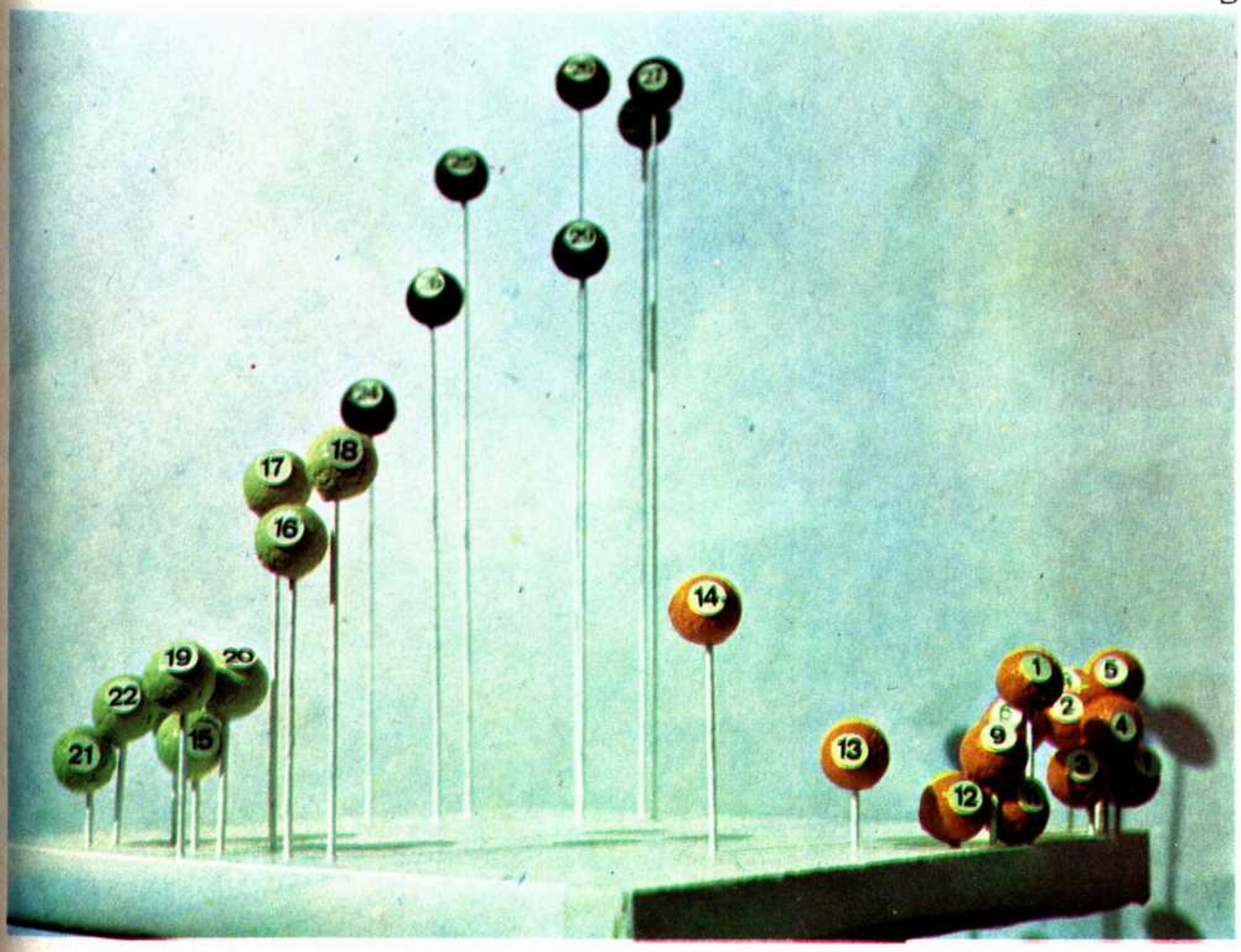
### Ecosistemas de los cotos

Al recorrer el parque llama la atención el matorral continuo, de color grisáceo, más claro en las partes altas (monte blanco) y muy oscuro en las depresiones (monte negro). El aspecto a ras del suelo es monótono y continuo, aunque desde el aire aparecen un gran número de pautas o dibujos intrigantes. Se plantean de inmediato varias cuestiones: ¿por qué matorral y no bosque?, ¿por qué estas pautas tan marcadas?, ¿ha sido Doñana siempre así?, ¿es igual todo el matorral del parque?

Para abordar estos problemas era necesario, ante todo, estudiar en detalle la estructura y composición del matorral y relacionarlas con los factores ambientales que las controlan.

En 1970, comenzamos en el departamento de Ecología de la Universidad de Sevilla una serie de estudios cuantitativos del matorral, que incluyeron inicialmente su clasificación en «tipos» y su relación con la profundidad del nivel freático del suelo. Se observó que los nombres locales de «monte blanco» y «monte negro» correspondían en una primera aproximación a los dos grandes grupos de matorral, uno con rasgos mediterráneos (romero, tomillo, cantueso, algunas jaras y jaguarzo) y otro, opuesto, de tipo atlántico (brezos, tojo). Buscando un grado mayor de resolución, se exploró la composición del matorral sobre un gradiente topográfico desde la parte más alta (y seca) del lomo arenoso a la parte inferior y también más encharcada. (V. fig. 8) El análisis cuantitativo se hizo sobre medidas de altura y cobertura de cada especie a lo largo de la banda de muestreo (31 parcelas). La téc-

A




B

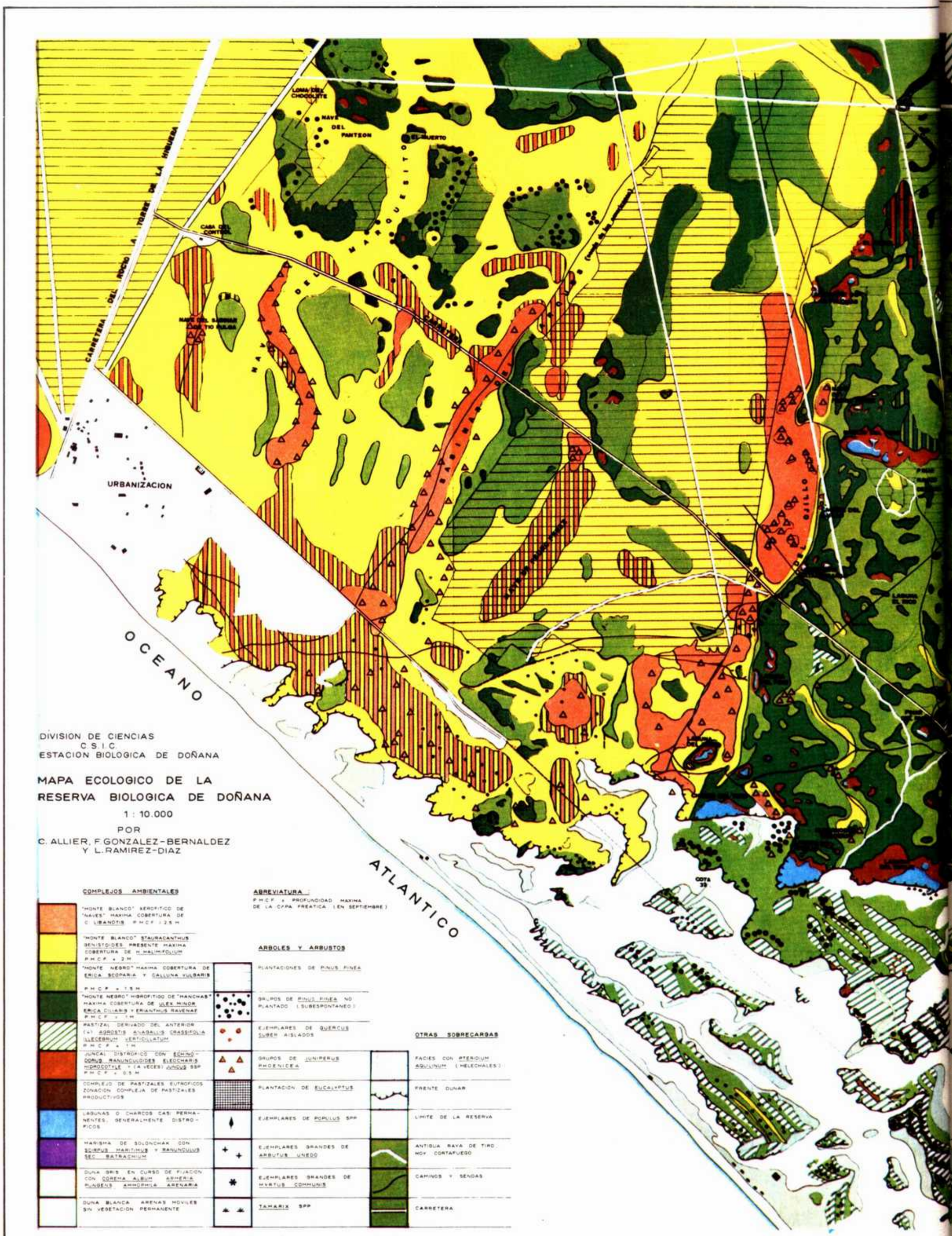
nica de análisis numérico escogida (análisis multivariado) permite explorar las tendencias de variación existentes en los datos (es decir, en la composición del matorral). Una representación de los resultados aparece en el modelo de la figura 8. Las parcelas (bolas) se sitúan en el espacio, de acuerdo con el parecido mayor o menor de su vegetación. Se observa una separación fuerte entre las amarillas (monte mediterráneo) y las verdes (monte negro) y éstas con las de verde oscuro (monte negro de «mancha»). Los números muestran claramente la correspondencia de los tres tipos de matorral (color) con su posición en la ladera. Al comparar estos datos con la profundidad del nivel freático, resulta evidente que la variación topográfica recoge la respuesta a este importante factor ambiental, que es el responsable principal de las pautas de vegetación observadas.

Estos resultados tuvieron cierta importancia por ser la primera demostración, con datos reales, de diferentes tendencias de variación en la vegetación, producidas por un solo factor ambiental. La neta distribución topográfica de los tipos de vegetación permitió realizar una cartografía ecológica del matorral. Con esta base, el profesor Fernando González Bernáldez y el doctor Luis Ramírez prepararon en el departamento, en colaboración con el doctor Claude Allier de la Universidad de Niza, el *Mapa Ecológico de la Reserva Biológica de Doñana*, publicado en 1974. (véase fig. 9).

Conocido el factor ambiental responsable de las tendencias de variación observadas en la vegetación, interesaba comprender los mecanismos responsables de su acción. Para ello, se estudió la variación del potencial hídrico de las hojas de cada especie en verano e invierno. Esta medida física estima el estado del agua en los tejidos y su disponibilidad para los procesos fisiológicos. En el gráfico 1 se representa la variación

Figura 8. **El matorral actual que ocupa los cotos es de una gran homogeneidad aparente, aunque su análisis detallado revela un ecosistema complejo, estructurado finamente.**
A. **Ocupa el lugar del antiguo bosque al que ha sustituido gracias al incendio repetido, la roza y la tala.**
B. **El análisis cuantitativo del matorral permite identificar diferentes «tipos». En el modelo tridimensional, se ordenan 30 parcelas (donde se midió la abundancia de las especies) en grupos, que se han identificado con colores. El amarillo corresponde a un matorral de tipo mediterráneo. El verde claro pertenece a uno de tipo atlántico y el verde oscuro a una variante del anterior que soporta bien el encharcamiento. El «factor ambiental», que controla la composición del matorral de Doñana, es el aporte de agua del suelo durante la sequía veraniega.**

**Las especies vegetales de tipo atlántico han eliminado de la parte inferior y deprimida a las de tipo mediterráneo, que han debido refugiarse en las partes altas y secas.**



del potencial hídrico de verano a invierno, frente a la distancia a la superficie piezométrica. La relación es muy llamativa: aquellas especies capaces de resistir fluctuaciones importantes del potencial hídrico en sus tejidos, ocupan suelos donde el potencial hídrico fluctúa de un modo acusado. Por el contrario, las especies que no soportan tal fluctuación quedan restringidas a suelos con escasa o nula fluctuación anual, es decir, alimentadas con agua por el nivel freático en forma permanente. Al primer grupo corresponde la vegetación mediterránea y al segundo, la atlántica. *Halimium halimifolium* (jaguarzo) y *Helychrisum italicum* poseen mecanismos de control que evitan grandes variaciones de potencial. Con estos resultados estaba claro que el matorral de tipo atlántico quedaba restringido, por razones fisiológicas, a zonas definidas, donde la superficie del suelo queda cercana al nivel freático. Pero las especies de tipo mediterráneo, ¿por qué estaban restringidas a las partes altas? En los gráficos 2A y 2B, se ha representado la abundancia de algunas especies a lo largo del gradiente. Se observa que las especies se sitúan en una banda estrecha, donde se localiza su abundancia máxima. Se trata de un caso de desplazamiento de nicho, debido al solapamiento y a la competencia. Las especies de tipo atlántico (monte negro) eliminan de la parte inferior y deprimida a las de tipo mediterráneo, que se refugian en las partes altas y secas, no colonizables por el monte negro.

El carácter intermedio del jaguarzo *(Halimium halimifolium)* tiene que ver con su carácter de colonizador primario, tras los incendios que inducen la generación de sus semillas. Esta especie oportunista o fugaz se ha «incrustado» o «superpuesto» entre los dos tipos de matorral, viéndose muy favorecida por la reiteración de incendios causada por la intervención humana.

La penetración de especies pirófitas y fugaces en el matorral planteó la necesidad de estudiar las etapas de sucesión tras incendios, tan frecuentes en Doñana en épocas anteriores. (fig. 10.)

Se identificaron zonas incendiadas en fecha conocida (hasta setenta y ocho años de antigüedad), y se hizo un seguimiento detallado de los quemados a partir de 1974. Angel Martín ha mos-

Figura 9. **Este mapa ecológico muestra la distribución de los tipos de matorral (rosa-amarillo-verde) y los restos de bosque (tramas superpuestas). Las dunas vivas que progresan desde la parte inferior se han representado en blanco.** (C. Allier, F. González Bernáldez y L. Ramírez Díaz, «Reserva Biológica de Doñana. Mapa Ecológico», Estación Biológica de Doñana, CSIC, Sevilla, 1974.)

**La comparación entre el valor de la biomasa del matorral de monte blanco y el monte negro arroja un balance netamente favorable a éste último, resultado de productividades primarias muy distintas, que reflejan el desplazamiento del primero por el segundo.**

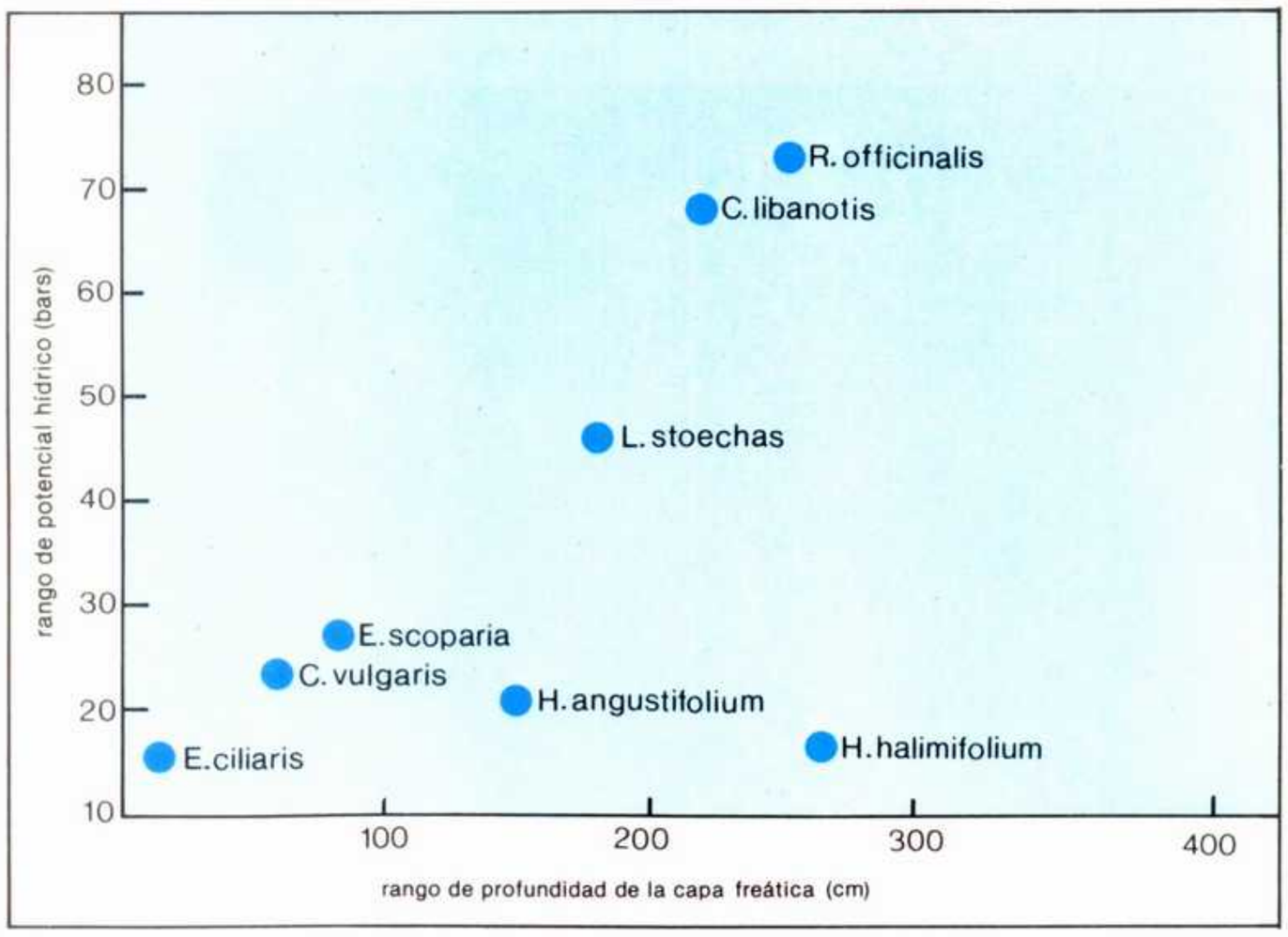



Gráfico 1. **Se ha representado la fluctuación anual del potencial hídrico en los tejidos de las especies frente al rango de profundidades de nivel freático donde aparece la especie. El gráfico muestra que las plantas capaces de soportar una gran variación de potencial hídrico (medida de la disponibilidad fisiológica del agua) se sitúan en suelos donde la alimentación de humedad desde el nivel freático es muy reducida (matorral mediterráneo), y las que sólo soportan reducida variación, ocupan suelos con agua disponible en verano (matorral atlántico). *Halimium halimifolium* es una especie pirófita que se ha introducido posteriormente en el matorral, y posee una considerable capacidad para controlar su transpiración.**

trado en su tesis doctoral como, tras el fuego del matorral, se produce una invasión muy rápida de especies herbáceas que dura dos años; luego las especies pirófitas de matorral (jaguarzo, jara) y las que rebrotan de raíz (tojo, brezos), han crecido lo suficiente para desplazarlas (V. fig. 10). A los seis años, el tamaño del matorral es semejante al que tenía antes del incendio. El estudio de la biomasa muestra que ésta aumenta de forma continua durante la sucesión, aunque lo hace rápidamente al principio y con lentitud a partir de los diez años. Los valores de biomasa del monte blanco son muy bajos (0,10 a 0,30 kg/m$^2$ de materia seca aérea) y comparable a la vegetación de zonas desérticas. Por el contrario, el monte negro, que llega a alcanzar más de 4 kg/m$^2$, representa una acumulación muy alta y poco común de biomasa por encima de los brezales atlánticos europeos. Este marcado contraste de biomasas entre ambos tipos de matorral está asociado a productividades primarias netas muy diferentes, que constituyen la base de la diferente capacidad de competencia entre los dos y el desplazamiento del primero por el segundo. Resultaba evidente que el matorral presentaba una etapa disclímax muy estable de los ecosistemas de cotos, y que en la actualidad se había convertido en predominante, al recuperarse con rapidez tras una perturbación.

Interesaba conocer cuáles serían las siguientes etapas de la sucesión hacia bosque y cuáles habían sido las causas y las etapas de su enorme degradación hasta matorral.

### Origen y mantenimiento del matorral

La existencia de especies pirófitas (jaguarzo, jara) sugería que la estabilidad del matorral era más aparente que real, y que, en ausencia de fuego frecuente, la sucesión había de progresar hacia etapas maduras.

El problema se abordó desde diferentes ángulos: por una parte el estudio de la distribución de especies longevas (arbustos y árboles) en el parque, por otro, el análisis polínico de los depósitos turbosos y suelos y, por último, la documentación histórica existente en los archivos de los municipios y antiguos propietarios del parque, en particular, la documentación del archivo ducal de la Casa de Medina Sidonia.

Al examinar sectores grandes del parque, aparecen cuatro especies de arbustos: labiérnago u olivilla *(Phyllirea angustifolia),* mirto, lentisco y espino negro, *Rhamnus lycioides,* repartidos en el matorral en zonas deprimidas y como pies aislados. En contraste, forman a veces el componente dominante en lo que se ha denominado «matorral arbustivo», así constituyen enclaves de gran riqueza, cuyos ejemplares, de un porte casi arbóreo, alcanzan alturas de 6 a 8 m y forman como grandes bolas-anillos de hasta 10 ó 15 m de diámetro, como en el Coto del Rey al norte o en las proximidades de El Sopetón al sur.

Linces, meloncillos, ciervos y jabalíes, junto a tejones, conejos, culebras bastardas, tortugas moras y mirlos, currucas, urracas, crialos y ruiseñores bastardos, encuentran en esta espesura un refugio perfecto. La reproducción de las especies de arbustos es difícil por semillas y tiene lugar habitualmente en forma vegetativa. El incendio o la roza desorganizan esta etapa del ecosistema que es sustituida por el matorral durante muy largo tiempo. La intensa presión de los herbívoros (ciervos, vacas, conejos) sobre los arbustos explica en buena parte su lentísima recuperación y su crecimiento en forma de almohadilla. Sólo cuando la almohadilla es suficientemente ancha y espesa, su parte central, libre de ramoneo, puede elevarse y transformarse en arbusto vigoroso, y cubrir el suelo con tal densidad que virtualmente elimina a las especies de matorral. Si este proceso no se interrumpe, el monte se cierra en una densa vegetación arbustiva alta y muy espesa, que deja estrechos caminos y pequeñas depresiones herbosas.

El proceso es muy lento, por lo que no se aprecian apenas cambios en intervalos de diez años y (a juzgar por los datos de incendios antiguos) el desarrollo de los arbustos implica más de cincuenta años sin perturbaciones; su desarrollo completo es quizá multisecular.

Radica aquí la causa primera de la estabilidad del matorral. Son especies «pioneras» y algunas de ellas (como el romero, estudiado por el profesor José Merino) tienen en Doñana ecotipos con muy escaso nivel de nutrientes, adaptados a los pobres suelos de las arenas. La lentitud de crecimiento de los arbustos hace que su desplazamiento por competencia no tenga lugar; antes vendrá un fuego que arrasará el ecosistema reduciéndolo a etapas iniciales de la sucesión secundaria, con lo que el proceso empezará de nuevo. (V. fig. 10).

### Los árboles

A excepción de los pinos de repoblación, los árboles en Doñana aparecen dispersos o en rodales. Aunque se suele identificar el alcornoque como la especie característica del parque (V. fig. 11), no es la única con abundantes ejemplares: fresnos (N, Coto del Rey, Rocina), sabinas (Reserva, dunas). En menor número, acebuche, madroño, taraje, piruétano, enebro, álamo y pies aislados de coscoja, encina, sauce, y de árboles introducidos recientemente: eucalipto, chopos y los numerosos pinares.

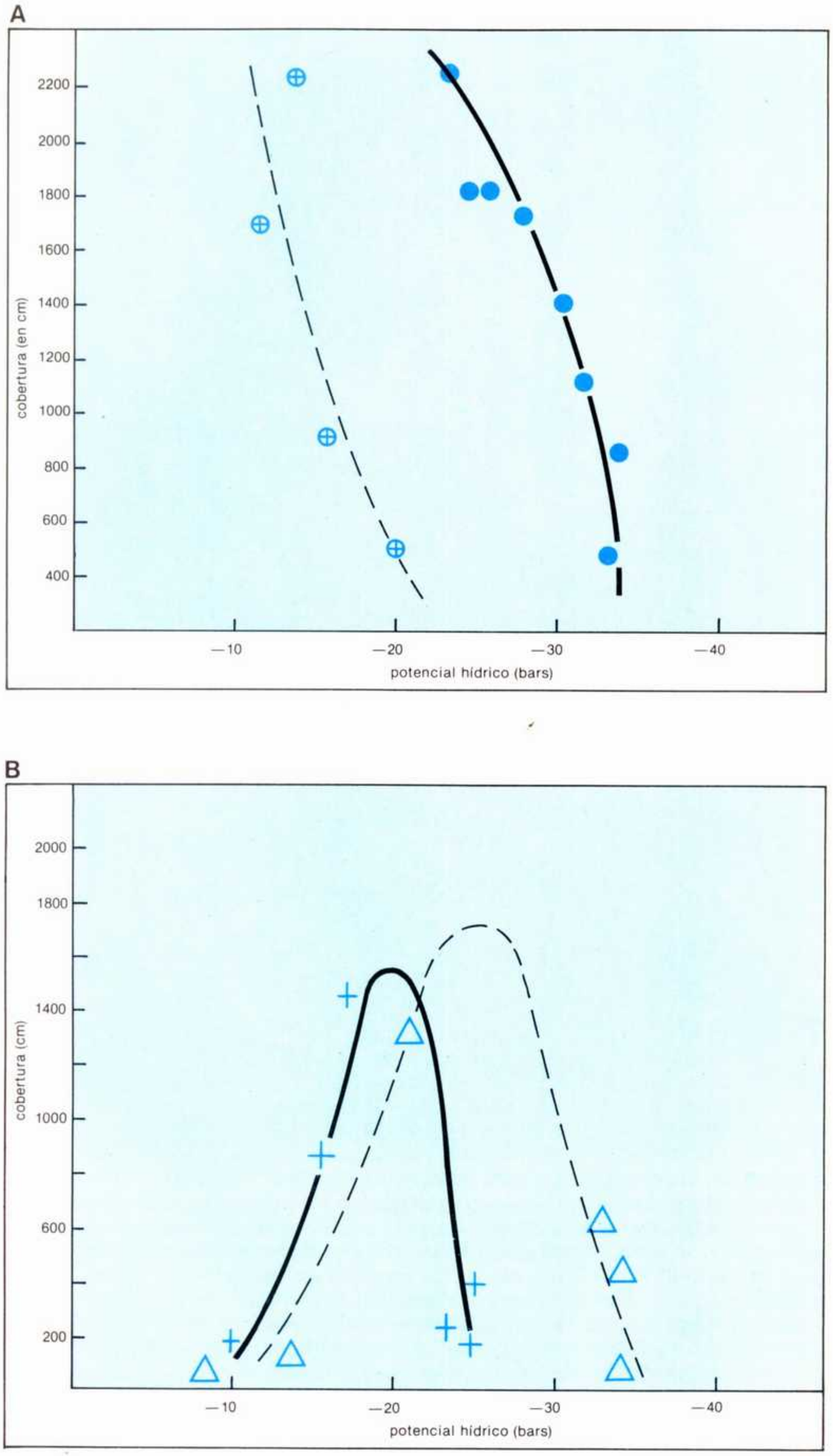



Gráfico 2. **Relaciones entre el potencial hídrico de las plantas y la cobertura, a lo largo de un gradiente de disponibilidad de agua. Aquí las especies se encuentran distribuidas de acuerdo con su capacidad para resistir la sequía en verano y crecer durante el invierno. La parte húmeda, favorable para todas, es retenida por el monte atlántico que elimina a los restantes tipos, gracias a su mayor crecimiento (productividad y biomasa). El monte mediterráneo se acantona en la parte alta y seca, siendo más desfavorable donde no sufre competencia, pero ha de soportar la adversa sequía estival.**
A. **Este gráfico muestra cómo *Erica scoparia* (●) y *Erica ciliaris* (⊕) presentan una cobertura menor a potenciales hídricos más bajos.**
B. **La respuesta de *Calluna vulgaris* (+) y *Halimium halimifolium* (△) muestra un máximo de cobertura que corresponde al óptimo ecológico.**

Llama la atención una característica que ya aparecía en los arbustos: o existen pies aislados (con frecuencia rodeando lagunas o en los bordes de la marisma), o se trata de bosquetes densos de árboles magníficos: madroños de 11 m de copa, alcornoques de 23 m. (V. fig. 11) Todo apunta a un bosque senescente, que apenas se multiplica y que fue arrasado en casi toda su extensión, del que sólo quedan pequeños e impresionantes enclaves conservados de árboles longevos. De nuevo el fuego y la intervención humana bastan para explicar la perturbación; la presión de herbívoros sobre semillas y plántulas explica la regeneración lentísima del bosque en el matorral.

En las dunas móviles hay bosquetes aislados de enebros y de sabinas, asociados a formas de relieve, que resaltan ahora como islas entre el mar de arenas y apuntan asimismo a la existencia de bosque antes de la puesta en movimiento del complejo dunar. Otras veces son álamos, con sus copas semienterradas por la arena o tarajes que, creciendo en tan insólito ambiente, señalan la existencia de una laguna o un cauce enterrado bajo los frentes dunares.

La regeneración lenta, las transformaciones del biotopo y la intervención humana parecen haber sido, por este orden, las causas de la desaparición del bosque y su falta de recuperación actuales. Pero, ¿cuál era el bosque original de Doñana?

Los estudios del doctor Peter Moore y Alan Stevenson de la Universidad de Londres, en depósitos turbosos y antiguos suelos del parque muestran al final de la última glaciación (hace unos quince mil años) un bosque boreal en las dunas de Doñana, dominado por abedul y aliso con avellano. Este bosque se ha retirado ahora muy lejos refugiándose los alisos en valles y angosturas de Sierra Morena y retirándose los abedules a cientos de quilómetros al interior, a zonas altas y frías. Pronto hace su aparición el polen de *Pinus* (pinos), *Juniperus* (enebros), *Quercus* (roble, alcornoque, encina), *Arbutus* (madroño), que perduran hasta la era actual con importantes fluctuaciones de abundancia relativa. La intervención humana se hace patente por la presencia de plantas nitrófilas *(Rumex, Plantago)*, características de sitios perturbados y lugares de cultivo. Una considerable acumulación de polen de *Vitis* (vid) podría corresponder a un cultivo muy antiguo de viñedo; de confirmarse, nos hallaríamos ante uno de los más antiguos ejemplos de este cultivo en la península.

Los datos del polen muestran una historia milenaria de bosques, compuestos por las especies actuales del parque. Aunque con cierta diversidad, son importantes en extensión (impor-

**La intervención del hombre mediante el ensayo de nuevos cultivos y la repoblación de nuevas especies arbóreas, así como los incendios y el ganado vacuno y de cerda, han modificado los ecosistemas originales.**

Figura 10. **Devastadores efectos de los incendios. El alcornoque, aun dañado, sobrevivió. El matorral se ha regenerado tan rápidamente que, transcurridos seis años desde la fecha en que se produjo el incendio, era completamente imposible identificar el sitio a simple vista. Las medidas de cobertura y biomasa revelan, sin embargo, que la regeneración completa es mucho más lenta. Se tardan, aproximadamente de veinticinco a sesenta años en completarse.**

tancia de unas especies sobre otras) y, en líneas generales, el bosque, los arbustos y una pequeña cantidad de matorral han estado presentes desde la glaciación Weischel. Sólo en épocas recientes (algunos siglos) los depósitos de polen de suelo acusan reducción de las coníferas *(Juniperus, Pinus)*, aumento de *Quercus* y gran aumento de *Pteridium* (helecho común) y la presencia final de granos de polen exóticos *(Eucaliptus)*, debidos a las numerosas plantaciones existentes en el siglo XIX.

Las etapas de transformación en los últimos siglos están recogidas en los archivos que han arrojado una luz considerable sobre la historia ecológica del Parque Nacional de Doñana.

El actual matorral era un bosque, y como tal bosque de Las Rocinas era conocido hasta el siglo XVII. Predominaba el alcornoque con madroño en las partes bajas y más húmedas (V. fig. 11); sabinas en las partes altas y secas y enebros cerca de la playa. Tarajes, fresnos y álamos en zonas muy húmedas o en las cercanías de la marisma. La intervención del hombre fue muy intensa, mediante el ensayo de nuevos cultivos (vid, morera, majuelo, olivo) y la repoblación (sauce, álamo, pino, encina y, sobre todo, alcornoque). Los elementos de la transformación han sido básicamente el ganado y los incendios. El ganado vacuno y el de cerda, al aprovechar en montanera los alcornoques con cultivos de secano ocasionales, han aclarado el bosque convirtiéndolo en dehesas y esqueletizando su rico suelo orgánico original. Los incendios, amenaza omnipresente de Doñana, arrasan una y otra vez el bosque hasta la marisma, deteniéndose sólo en las dunas (V. fig. 10). Poco a poco, la cubierta arbórea se reduce hasta refugiarse en zonas donde el fuego es difícil (dunas) o la recuperación más fácil (borde de lagunas). La repetición del fenómeno sólo deja pequeños rodales con grandes árboles, rodeados de grandes arbustos de mirto, labiérnago, con grandes lianas de zarzaparrilla, chupamiel *(Lonicera)*, zarzamora, e incluso vid salvaje. La fauna del alcornoque se encuentra aquí en su plenitud; los grandes troncos huecos que albergan a la gineta o el gato montés, los córvidos y las rapaces nocturnas, los picos y todas las especies que anidan, crían, se esconden o vigilan en los troncos, y que en el matorral aparecen sólo en forma parcial, empobrecida.

Las dunas móviles perdieron su espeso bosque de enebro debido más a la explotación que al incendio; los sabinares se redujeron por combinación de entrambos. El espectacular sistema de dunas móviles estaba en gran parte estabilizado y cubierto de bosque: en el siglo XVIII comienza su imparable progresión hacia el interior, que destruye el bosque, arrasa y rellena las lagunas, cubre parte de la marisma y que, en fases pulsantes de actividad y estabilidad, ha llegado hasta nosotros prestando ahora una de sus mayores extensiones, con un avance de sus frentes más activos, manteniendo durante los últimos cuarenta a setenta años de 5 a 6 m/año.

El factor desencadenante del avance parece ser la explotación humana de sus bosques para madera, leña, mante-

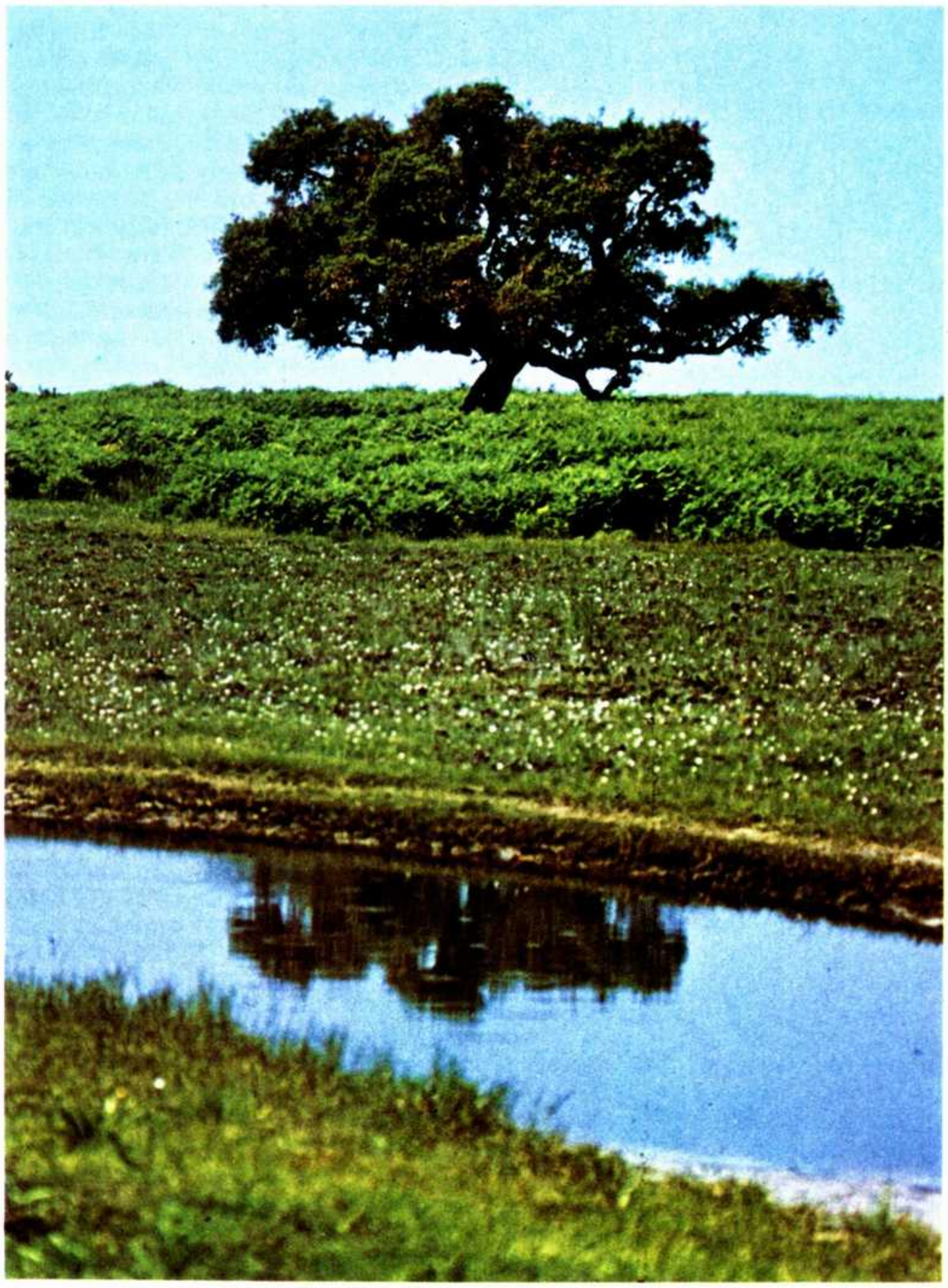


Figura 11. **El alcornocal original ha desaparecido casi por completo. Pies aislados se han refugiado en las cercanías de pequeñas lagunas o en las proximidades de la marisma. La densa vegetación bajo el árbol está constituida por helechos *(Pteridium aquilinum).***

nimiento de las almadrabas de Doñana y la gran población humana que las hacía funcionar.

En el Asperillo, han llegado a nosotros retazos del enebral que se extendía hacia el mar y en puntos más cálidos y secos, hacia el interior, huellas de las poblaciones de sabinares. Tala y repoblación acabaron con el resto, y las hostiles condiciones del biotopo han dificultado mucho su regeneración.

### Un mosaico de ecosistemas emparentados

Aunque faltan lagunas grandes por rellenar, empezamos a conocer los capítulos de la historia ecológica de Doñana. Desde que era bosque «tierra que es llana e es toda sotos, e hay siempre puerco, (jabalí)...» que registra Alfonso XI en su *Libro de la Montería* (*circa* 1350) hasta el matorral de los cotos, la repoblación del Asperillo y la movilidad de las dunas vivas.

Las facies de matorral, los rodales de bosque, los arbustos, los pastizales son como imágenes desperdigadas que podemos reordenar en el tiempo y estructurar en el espacio, y reconocer así la historia de los ecosistemas del parque.

Esta investigación no tiene sólo un objetivo de reconstruir el pasado, sino que trata de ayudarnos a comprender la intervención del hombre y la naturaleza en un ejemplo particularmente bien conocido, interesante y duradero. Además, nos servirá como base para el propio manejo y conservación del parque en el futuro, regenerando ecosistemas valiosos, controlando procesos destructivos y, en general, manteniendo el precioso legado natural que es el Parque Nacional de Doñana. ■

## Para más información:


■ S. Castroviejo, E. Valdés Bermejo, S. Rivas Martínez y M. Costa. «Novedades florísticas de Doñana» *Anales del Jardín Botánico de Madrid.* 16 pp. 203-244, 1980.

■ Helena Cota Galán, F. García Novo y A. Pou Royo. «Estudio de las marismas del Parque Nacional de Doñana utilizando imágenes del satélite ERTS-1», *Boletín Estación Central de Ecología, 6,* 12, 1977.

■ A. Duque. «El mito de Doñana», Servicio de Publicaciones del Ministerio de Educación, Madrid, 1977.

■ F. García Novo. «The effects of the fire in the vegetation of Doñana National Park. S.W. Spain «Proceeding of the Symposium on the environmental consequences of fire and fuel management in Mediterranean ecosystems» 318-325. General Technical USDA Forest Service. Repport WO-3. California, 1977.

■ F. García Novo. «The ecology of vegetation of the dunes in Doñana National Park (South West Spain). R.L. Jefferies y A. Davy, «Ecological processes in coastal environments», pp. 571-592, Blackwell, 1979.

■ F. García Novo y otros. «Doñana. Prospección e inventario de sus ecosistemas», monografía 18. ICONA. Madrid, 1977.

■ F. García Novo, L. Ramírez Díaz y A. Torres Martínez. «El sistema de dunas de Doñana». *Naturalia Hispanica, 5,* ICONA, Madrid, 1976.

■ F. González Bernáldez, F. García Novo y L. Ramírez Díaz «Analyse factorielle de la vegetation des dunes de la Reserve Biologique de Doñana (Espagne)», *Israel, J. Bot., 24,* pp. 106-117 y pp. 173-182, 1975.

■ J. Merino, F. García Novo y M. Sánchez Díaz «Annual fluctuation of water potential in the xerophitic shrub of the Doñana Biological Reserve (Spain)», *Oecol. Plant., 11,* pp. 1-11, 1976.

■ J. Merino, A. Martín y P. Martín de Agar «Biomass productivity and succession in the scrub of the Doñana Biological Reserve in Southwest Spain» *Productivity in the mediterranean shrub,* Atenas, 1980.

■ J.A. Valverde, «Estructura de una comunidad mediterránea de vertebrados terrestres», Monografías de Ciencia Moderna n.º 76 CSIC. Madrid, 1967.

**Hay que aprender a «dosificar» la turbulencia de las llamas en los fenómenos de combustión.**

# En el corazón de las llamas

Una reciente publicación de la American Society of Mechanical Engineers[1] presenta las conclusiones de un estudio prospectivo de dos años, realizado en colaboración con los mayores constructores americanos de turbopropulsores, y con los distintos organismos de investigación del ejército americano. En él se constata que a pesar de los impresionantes avances obtenidos en los últimos cuarenta años en la tecnología de propulsión, el vertiginoso aumento de los precios del carburante así como las recientes normativas legales referentes a la polución, exigen un nuevo esfuerzo de investigación. La finalidad no es sólo mejorar el rendimiento de los actuales turborreactores, aumentando la fuerza de empuje y reduciendo el consumo y las dimensiones, sino concebir una nueva generación de turborreactores que trabajen a temperaturas más elevadas y puedan consumir nuevos tipos de carburantes como el hidrógeno, el metano líquido o incluso mezclas de productos orgánicos sintéticos.

Asimismo, es igualmente necesario desarrollar un motor de combustión interna de mínimo consumo. En Estados Unidos y Francia ha sido elaborado un plan de colaboración entre los laboratorios de investigación fundamental. Nuestro equipo ha estudiado especialmente el papel de la turbulencia en la combustión, pues la experiencia cotidiana nos demuestra que una llama demasiado turbulenta no aprovecha todo el combustible, y una llama en régimen laminar presenta una tasa de liberación de energía relativamente baja. Así pues, hay que aprender a «dosificar» la turbulencia en los fenómenos de combustión, y para ello hemos puesto a punto un nuevo método experimental basado en la difusión de la luz (figura 1).

### ¿De qué depende la eficacia de la combustión?

La interacción turbulencia-llama se observa en la experiencia cotidiana. Fijémonos lo que pasa en un fuego de leña: las llamas se mueven siguiendo los caprichos del viento, inclinándose cuando es fuerte y enderezándose luego. Aunque de naturaleza distinta, las llamas de una cámara de combustión y las de un fuego de leña, tienen la misma forma: la de una superficie luminosa de algunas décimas de milímetro de espesor, a través de la cual se efectúa la reacción química. Si la combustión se produce en un medio gaseoso inmóvil formado por la mezcla de los productos reactivos, esta superficie, llamada frente de la llama, tiene una velocidad de avance determinada (*La Recherche,* n.º 94, p. 954, noviembre 1978). De este modo, la «llama-bebé» producida por una bujía (caso de la combustión de mezcla aire-gasolina) adquiere una forma esférica. En el caso de las cocinas de gas y de los sopletes, los gases reaccionan en el orificio del quemador, siendo el frente inmóvil ya que su velocidad está compensada por la velocidad de salida de los gases aún no quemados; este equilibrio da a las llamas la forma cónica característica. Si por cualquier razón, la velocidad de salida de los gases varía, el frente de la llama adquiere un movimiento que refleja el desequilibrio entre las dos velocidades. Se dice entonces que las llamas son turbulentas. Los movimientos desordenados, provocados por la ascensión de los gases calientes, dan a las llamas su movimiento danzante: en un ambiente en que no se puedan formar estas corrientes de convección, sucede que ¡la llama de una vela es esférica!

En las aplicaciones industriales, las llamas siempre son turbulentas porque se utilizan grandes cantidades de gas. Por otra parte, la eficacia global de la combustión depende de la forma y el movimiento de los frentes.[2] Así pues, si la superficie del frente aumenta por plegamiento, la superficie de reacción también aumenta y, en consecuencia, se consigue un mayor rendimiento de la reacción. Se comprende pues lo importante que pueden ser las repercusiones económicas derivadas de un mejor conocimiento de las propiedades dinámicas de estos frentes, gracias a la puesta a punto de los sistemas de diagnóstico apropiados.

### Observar la forma y medir la velocidad

Los nuevos métodos experimentales recientemente puestos en funcionamiento en Marsella, asocian dos procedimientos basados en el fenómeno de la difusión de la luz por partículas finas. Una nube de partículas del orden de un micrómetro inyectado en un fluido se difunde por éste. Si se ilumina la nube de partículas, cada una de ellas reenvía en todas direcciones parte de la luz incidente, es decir: difunden la luz. Gracias a la homogeneidad de la luz láser, es posible colocar una red de franjas de interferencia entre dos haces de un mismo rayo. Estas franjas están formadas por planos iluminados y oscuros alternados regularmente, con una separación entre ellos del orden de algunos micrómetros. Una partícula que atraviese el campo de interferencia difundirá la luz en las zonas iluminadas y será invisible en las zonas oscuras. En consecuencia, enviará una serie de destellos cuya frecuencia de emisión es proporcional a la velocidad. Captando y procesando convenientemente estas señales, se mide la velocidad de una partícula en cuestión de microsegundos. Si la partícula es lo suficientemente pequeña, su velocidad es la misma que la del gas que la rodea. En la práctica, esta condición se cumple por partículas de un micrómetro.

Por otra parte, para determinar la forma y estructura de las llamas, se utiliza la tomografía láser, ya que, como su nombre indica, permite observar una sección del frente de la llama.[3] También aquí se utiliza un aerosol, formado por pequeñas gotas de aceite o de cualquier otro líquido susceptible de ser vaporizado a temperaturas inferiores a la de combustión. Cuando las partículas del aerosol inyectadas en el gas antes de quemarse son lo suficientemente pequeñas, se vaporizan al atravesar el frente, a una distancia inferior a la anchura de la llama. Así pues, las partículas del aerosol están presentes en el gas todavía no quemado sólo antes de llegar al frente. Si la zona de combustión está iluminada por un haz de luz, se observa de inmediato una discontinuidad luminosa relacionada con la desaparición de las partículas, con lo que se materializa el trazado del frente de la llama. Gracias a un sencillo montaje óptico, se ha evidenciado por primera vez, en 1979, una componente de la velocidad del frente (figura 1).[4]

Para el diagnóstico de una llama se requiere la utilización simultánea de las dos técnicas, pero entonces hay que separar los dos haces difundidos. La solución es simple: basta con iluminar con luces de distinto color y colocar detectores en los filtros correspondientes.

### Una llama que responde o que no responde

Los resultados obtenidos aclaran las propiedades dinámicas de una llama y se pueden describir simplemente en términos de respuesta de un sistema (el frente) a una excitación externa (la turbulencia de salida). En los experimentos de combustión se observa que la turbulencia de la salida de gases excita el plegamiento del frente de la llama. La señal «velocidad de desplazamiento», que caracteriza la respuesta, puede estar correlacionada con la señal excitadora «velocidad de salida». Actualmente las teorías[2] preveen que el tiempo

(1) A.M. Mellor, P.A. Leonard, R.E. Henderson, «Turbopropulsion combustion Research needs», A.S.M.E. Publication, Gas turbine. Conference and Products Show, Nueva Orleans, EE.UU., 1980.
(2) P. Clavin y F.A. Williams, «Theory of premixed propagation in large scale turbulence», *Journal of Fluid Mechanics, 90,* 589, 1979.
(3) L. Boyer, «Laser tomographic method for flame front movement studies», *Journal of Combustion and flame,* 1980.

de respuesta aumenta muy rápidamente con la distancia comprendida entre las crestas de dos pliegues consecutivos (longitud de onda).

Nosotros hemos comprobado que, efectivamente, con longitudes de onda suficientemente grandes, el tiempo de respuesta del frente resulta mayor que el tiempo característico de la evolución de las fluctuaciones de salida. En este caso, no pudiendo seguir fácilmente la modulación de las velocidades del gas, la intensidad del movimiento del frente es muy fiable. Por el contrario, a pequeñas longitudes de onda, el tiempo de respuesta es mucho más pequeño que el tiempo de evolución del excitador, y la llama sigue perfectamente las modulaciones de la turbulencia.

Estas observaciones sobre las propiedades dinámicas de los frentes de llama son importantes porque contradicen el sentido común, que llevaría a pensar que, en todo caso, la llama debe seguir más fácilmente las grandes estructuras de turbulencia que las pequeñas. De todas formas hay que tener presente que el campo de validez de estos resultados se limita a los frentes de llama con plegamientos, poco afectados por la turbulencia. En las aplicaciones industriales, frecuentemente se dan casos que salen de estos modelos de frentes plegados, ya sea porque el frente de llamas está dividido en pequeñas zonas, o porque la escala espacial de turbulencia resulta más pequeña que el espesor de la llama. En este caso, la tomografía láser puede ser un método muy interesante para determinar la topología de los frentes. Este método ha tenido una favorable acogida en los medios relacionados con la combustión. Se ha puesto ya en funcionamiento en varios laboratorios franceses, así como en el Instituto francés del petróleo, donde es utilizado para estudiar la evolución de una llama esférica provocada por una bujía (encendido de la mezcla en los cilindros), y en la universidad de Ruán para diagnosticar llamas turbulentas de hidrógeno-oxígeno envueltas en una vaina de salida. Por otra parte, la tomografía láser se puede utilizar igualmente para estudiar los fenómenos de estructuración celular de las llamas que se desordenan espontáneamente. Con ello se deberá comprender mejor la génesis de la turbulencia y su naturaleza.

La existencia de este acoplamiento entre las estructuras celulares y la turbulencia de salida nos lleva a formular algunas consideraciones futuristas. Se sabe que los sistemas oscilantes sometidos a una excitación periódica pueden entrar en resonancia en el momento en que el período de excitación se acerca al período propio del sistema. En este caso, con valores bajos de excitación, la respuesta del sistema resulta mayor y puede producir roturas en los sistemas mecánicos (es conocido el clásico ejemplo del puente que se desmorona con el paso rítmico de una tropa), o bien originar sobretensiones en el caso de sistemas eléctricos. Se puede imaginar un fenómeno similar cuando las estructuras celulares presentan una frecuencia de oscilación propia y están sometidas a la acción de una salida turbulenta con frecuencias y longitudes de onda próximas a las de las estructuras.[5] Esta eventual resonancia del frente de llama podría ser la causa de los fenómenos vibratorios de baja frecuencia que aparecen habitualmente en los turborreactores durante su puesta a punto, muy peligrosos para las estructuras mecánicas. Por otro lado una vez dominada esta resonancia podría ser explotada para aumentar el rendimiento de la combustión. En este caso, en el que el interés práctico es notorio, es también de una importancia fundamental para la física de la combustión, que es una de las motivaciones de estos trabajos y un aliciente para la investigación.

*Louis Boyer y Paul Clavin.*

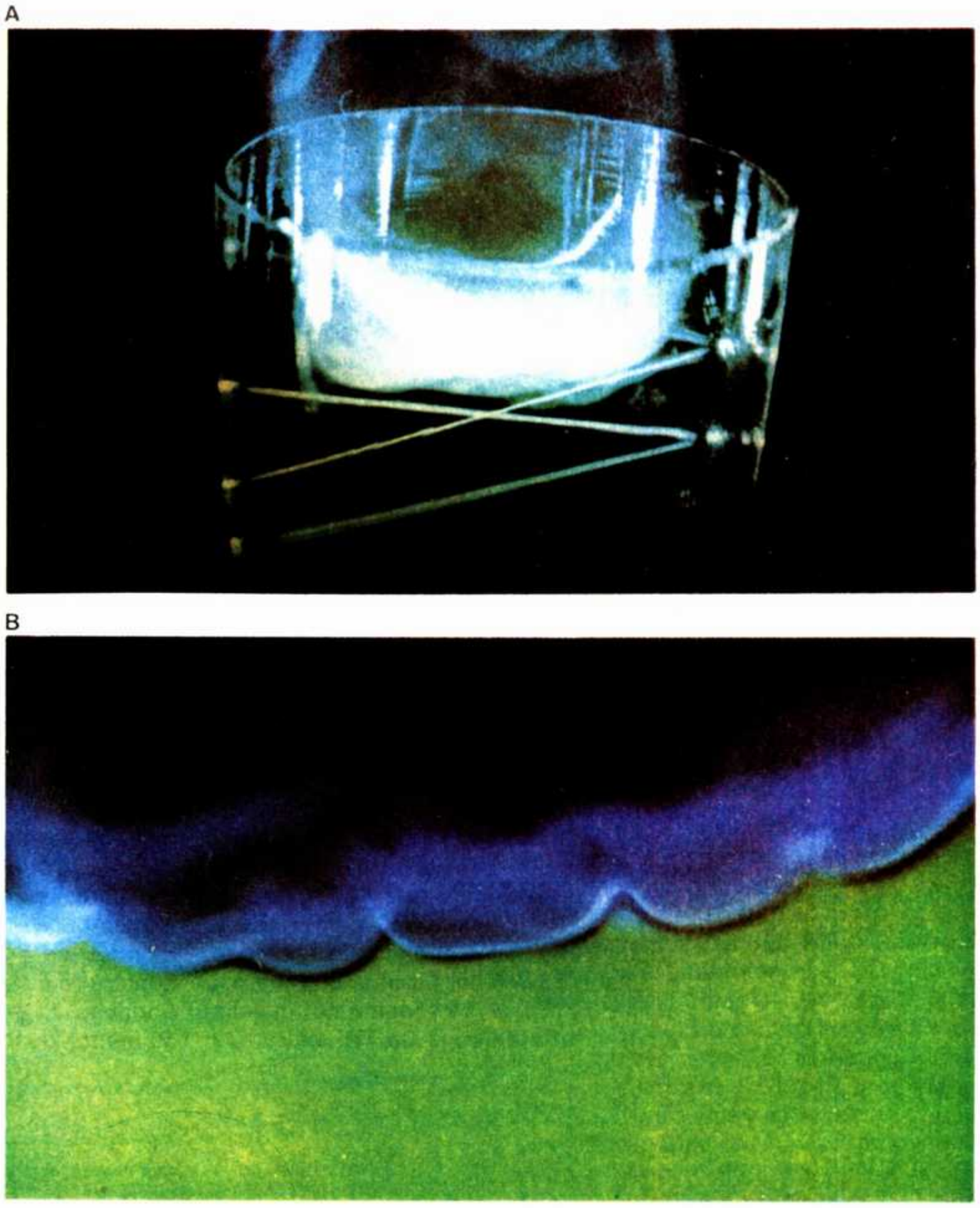



Figura 1. **La eficacia de la combustión está estrechamente relacionada con las propiedades dinámicas de las llamas, y los investigadores han padecido durante mucho tiempo la falta de métodos experimentales que les informasen simultáneamente de la velocidad y la forma de los frente de llama. Un equipo de Marsella propone un sistema de diagnóstico que permite conseguir este doble objetivo. El sistema se asocia dos procedimientos basados en el fenómeno de la difusión de la luz: la anemometría y la tomografía láser.**

**El montaje experimental consiste en iluminar la zona de combustión, a la que se han esparcido partículas de aerosol, con dos haces de láser : uno azul para la anemometría, y el otro verde para la tomografía** (A).

**Con la anemometría se mide la velocidad de los gases. Con la tomografía se intenta calcular la velocidad del frente de llama materializando su trayecto con pequeñas gotas de aceite que difunden la luz del haz láser. La frontera entre la zona iluminada y la zona oscura representa la sección de la llama** (B). **Este perfil, con el tiempo se llega a plegar. Basta con seguir, en una dirección dada, las posiciones del frente para lograr, relacionándolas con el tiempo, las variaciones de la velocidad del frente de llama.**

(4) F. Sabathier, L. Boyer, P. Clavin, «Experimental study of weak turbulent premixed flames», 7º I.C.O.G.E.R. Gotinga (1979) en *Proceedings of the Seventh International Colloquium on Gas dynamics of Explosions and Reactive Systems*, AIAA, 1980.

(5) G. Joulin y P. Clavin, «Linear stability analysis of non adiabatic flames», *Combustion and flame*, 35, 139, 1979.

EX LIBRIS Scan Digit

The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

# Informaciones y noticias

CONFERENCIA INTERMUNICIPAL CONTRA LA POLUCION DE LA MEDITERRANEE

Barcelone, 27 - 29 Novembre 1981

INTERMUNICIPAL CONFERENCE AGAINST POLLUTION OF THE MEDITERRANEAN SEA

Barcelona, 27 - 29 November, 1981

CONFERENCIA INTERMUNICIPAL CONTRA LA POLUCION DEL MEDITERRANEO

Barcelona 27 - 29 de Noviembre de 1981

1. **SESIONES Y SEMINARIOS DE TRABAJO**

27.11.81

*Inauguración y conferencias de interés genérico.*

Mañana:

Sesión inaugural:

— Intervención de delegados.
— Conferencia sobre el programa PNUMA para el Mediterráneo.
— Alocución del Alcalde de Barcelona.

Tarde:

Presentación de los seminarios de trabajo.

— Conferencia sobre el programa MAB para los sistemas ecológicos urbanos.
— Conferencia sobre el programa OMS para el uso del agua.

28.11.81

Opción A *Seminarios de trabajo especializado.*

Mañana:

Constitución de los 4 seminarios e inicio del trabajo.

— Presentación de la 1.ª ponencia de base.
— Presentación de aportaciones específicas de participantes (contenido de las demostraciones).
— Debate.

Tarde:

Reanudación.

— Presentación de la 2.ª ponencia de base.
— Resumen de aportaciones específicas de los participantes (contenido de las demostraciones).
— Debate.

Asamblea conjunta (asistentes a los seminarios y a las visitas técnicas).

— Resumen del trabajo de los 4 seminarios.
— Resumen de las visitas técnicas.

Opción B *Visitas técnicas paralelas.*

Mañana:

Visita guiada a instalaciones de depuración y tratamiento de aguas.

Tarde:

Asamblea conjunta (asistentes a los seminarios y a las visitas técnicas).

— Resumen del trabajo de los 4 seminarios.
— Resumen de las visitas técnicas.

29.11.81

*Demostraciones comentadas y actos de clausura.*

Mañana:

Discusión y comentario de las demostraciones.

Tarde:

Sesión de clausura.

— Conferencia del CMMA sobre la problemática ambiental en Barcelona.
— Presentación de conclusiones y propuestas de los seminarios y del fórum ecologista.
— Adopción de resoluciones.
— Parlamentos de clausura.

2. **DEMOSTRACIONES DE PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES CONCRETOS**

27.11.81

Mañana:

Aportación de documentación (participantes) para el montaje de los plafones.

Tarde:

Visita libre.

28.11.81

Mañana/Tarde:

Visita libre.

29.11.81

Mañana: Discusión y comentarios.

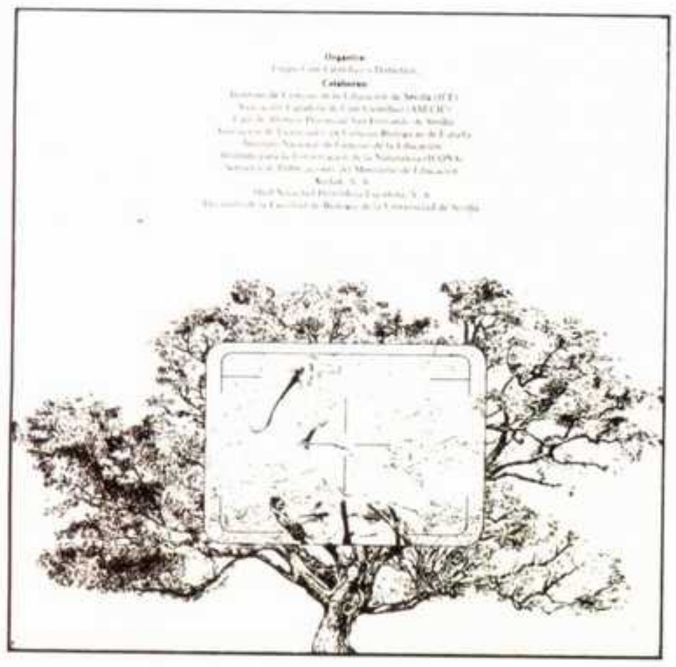
**OBSERVACIONES**

1. Los lugares y horas exactos de celebración de cada acto, los títulos de las ponencias, los nombres de los responsables de los seminarios, etc., se determinarán con precisión en ulteriores avances o en el programa definitivo. Se determinará conjuntamente, los actos sociales y de confraternización ofrecidos a los asistentes a la Conferencia y a sus acompañantes.
2. Los cuatro seminarios de trabajo especializados previstos corresponden a los temas siguientes:
   a) Legislación ambiental en materia de aguas a nivel internacional, nacional y local.
   b) Financiación y gestión de los servicios medioambientales municipales.
   c) Tecnología de red de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.
   d) Aprovechamiento de cienos y aguas depuradas, uso recreativo de playas y riberas fluviales.

   Estos seminarios serán eminentemente técnicos y estarán reservados preferentemente a especialistas en la materia; simultáneamente a su celebración, tendrán lugar unas visitas a instalaciones para los asistenetes a la Conferencia que deseen asistir, tal como se indica en el programa.
3. Las demostraciones del punto 2 del programa son comunicaciones (textos, fotografías, gráficos, etc.) sobre temas concretos de problemas relativos a la temática de la Conferencia y se exhibirán sobre plafones de 1 m × 1 m.
4. Durante la mañana del día 29.11.81 tendrá lugar un fórum ecologista, abierto a la participación ciudadana, cuyas conclusiones se someterán a la consideración del pleno de la Conferencia.
5. Los idiomas oficiales de la Conferencia serán el francés, inglés, castellano, catalán y árabe, de los cuales los tres primeros tendrán carácter de idiomas de trabajo en los seminarios y en las publicaciones. En todas las sesiones existirán servicios de traducción simultánea.

## Primeras jornadas de cine científico en Sevilla

Se han desarrollado en Sevilla del 23 de marzo al 4 de abril estas primeras jornadas organizadas por el *Grupo de Cine Científico y Didáctico* de la Facultad de Biología de la Universidad de Sevilla, con el objetivo de dar a conocer el cine utilizado en investigación y divulgación científica, y por otra parte concienciar de la necesidad de este instrumento de trabajo en la docencia e investigación.



Durante estas jornadas se desarrollaron conferencias y mesas redondas sobre:

«Producción, realización, distribución y utilización del cine científico»

«El cine científico como técnica de investigación»

«Utilización del cine en la investigación y enseñanzan de la medicina»,

entre otros temas de interés. Paralelamente se desarrolló el

**PRIMER CERTAMEN DE FOTOGRAFÍA Y DIAPOSITIVA CIENTÍFICA**

y la exposición de fotografías:

«El descubrimiento del cuerpo humano» cedidas por Kodak, S.A.

Las películas proyectadas durante el desarrollo de estas jornadas fueron cedidas por diversos organismos en las que se puso de manifiesto la utilidad del cine científico como instrumento de trabajo.

Son las que se detallan a continuación:

**LUNES 30 MARZO**

— MILLONES DE AÑOS DE ADELANTO.
Versión española. 26 min. Zoología. Alemania.
— EL ORIGEN DE LOS ELEMENTOS.
Versión española. 18 min. Química. Estados Unidos.
— CHLOROSTILBON MELANORHYNCUS (TROCHILIDAE). COLIBRI, VUELO SOSTENIDO.
Muda. 5 min. Zoología. Alemania.
—VUELO A ALTAS VELOCIDADES.
Versión española. 21 min. Aeronáutica. Inglaterra.
—REDESCUBRIMIENTO DE SATURNO.
Versión española. 28 min. Astronomía. Estados Unidos.

**MARTES 31 MARZO**

— DIEZ MIL A UNO.
Versión española. 17 min. Fitopatología. Alemania.
— CAVITACIÓN.
Versión española. 18 min. Mecánica de fluidos. Inglaterra.

—CACTOSPIZA PALLIDA (FRINGILIDAE). UTILIZACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PARA LA OBTENCIÓN DE ALIMENTO.
Muda. 11 min. Etología. Alemania.
— INTRODUCCIÓN AL LASER.
Versión española. 17 min. Física óptica. Inglaterra.
— OVULACIÓN EN EL HOMO SAPIENS.
Muda. 1,5 min. Medicina. Alemania.
—LOS PRIMEROS DÍAS DE LA VIDA
Versión española. 18 min. Medicina. Francia.
—PLAYAS SIN PETRÓLEO.
Versión española. 18 min. Medio ambiente. Inglaterra.

**MIÉRCOLES 1 ABRIL**
—LA ERUPCIÓN DEL TENEGUIA.
Versión española. 55 min. Geología. España.
— EVOLUCIÓN.
Versión española. 10 min. Evolución. Estados Unidos.
— PURPUROBACTERIAS. FOTOSÍNTESIS ANAEROBIA.
Versión española. 7 min. Microbiología. Alemania.
—ONDAS ESTACIONARIAS Y PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN.
Versión española. 11 min. Física. Inglaterra.
—EL AMUR EN EL DESIERTO DE KARAKUN.
Versión española. Ecología. Rusia.

**JUEVES 2 ABRIL**
—EL CICLO BIOLÓGICO DE LA FORFICULA.
Versión española. 20 min. Zoología. Francia.
—INTRODUCCIÓN A LA CINÉTICA DE LAS REACCIONES.
Versión inglesa 20 min. Química. Estados Unidos.
—UN PEQUEÑO COLONIZADOR VERDE.
Versión inglesa 20 min. Química. EE.UU.
—CÓMO TRABAJA EL CORAZÓN.
Versión española. 19 min. Medicina.
—CONSTRUCCIÓN DEL NIDO, PUENTES Y TROFOBIOSIS DE LA CECOPHYLLA SMARAGDINA (FORMICIDAE).
Muda. 8 min. Zoología. Alemania.
—LA PLAYA UN RÍO DE ARENA.
Versión española. 21 min. Geomorfología. Inglaterra.
—CHAMALEO JAKSONI.
Muda. 4,5 min. Zoología. Alemania.

**VIERNES 3 ABRIL**
—ECOLOGÍA DE LA POBLACIÓN.
Versión española. 19 min. Demografía. Inglaterra.
—POZO DE PETRÓLEO
Versión española. 30 min. Petróleo. Inglaterra.
—PENSAMIENTO Y PRUEBAS DE INTELIGENCIA EN UN CHIMPANCÉ.
Versión alemana. 9 min. Etología. Alemania.
—UN DESCUBRIMIENTO ¿POR QUÉ SE INCLINAN LAS PLANTAS HACIA LA LUZ?
Versión española. 13 min. Fisiología vegetal. Inglaterra.
—REPRODUCCIÓN DEL ALGA VERDE HYDRODICTYON RETICULATUM.
Versión inglesa. 12 min. Botánica. Alemania.
—EL AGOTAMIENTO DE LOS LAGOS.
Versión española. 14 min. Limnología. Inglaterra.
— FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE ACUICULTURA.
Versión española. 10 min. Acuicultura. España.

**SÁBADO 4 ABRIL**
Proyección.
Entrega de Premios del Primer Certamen de Fotografía y Diapositiva Científica.
Clausura de las Jornadas a cargo del Dr. J.A. Valverde.

## Ciclo biología y sociedad

La Asociación de Licenciados en Ciencias Biológicas de España (ALBE) de Andalucía Occidental organiza este ciclo que se inició con una serie de conferencias sobre «Situación y perspectivas del biólogo en la sociedad», con las que se pretende que los biólogos conozcan lo mejor posible su verdadera función social y, por otra parte, que la sociedad la perciba y la aproveche.

En la Sesión de Apertura se informó ampliamente de la nueva situación objetiva del biólogo ante la creación del Colegio Oficial de Biólogos, con lo cual se dispondrá de la vía para el equiparamiento legal y la solución de la problemática de la profesión de biólogo, así como la definición de ésta con la elaboración de la Carta de Profesionalidad.

Una serie de conferencias posteriores informaron sobre los objetivos sociales y profesionales a medio y largo plazo en los distintos campos de actividad de la biología.

**—EL COLEGIO OFICIAL DE BIÓLOGOS COMO ORGANIZACIÓN PROFESIONAL.** Dr. Ginés Maria Salido Ruiz, presidente de ALBE.

**—LA PROFESIÓN DE BIÓLOGO.** Dr. Luis M. Daza Ramos, presidente de ALBAO.

**—EL BIÓLOGO EN LA ORDENACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS PESQUEROS Y MARISQUEROS.** Dr. José M. Pérez Rodríguez, jefe sección científica de PEMARES.

**—INVESTIGACIÓN APLICADA.** Dr. José M. Martínez Suárez, director del Instituto de la Grasa y sus Derivados del CSIC de Sevilla.

**—ADMINISTRACIÓN INVESTIGACIÓN Y NATURALEZA.** Dr. Javier Castroviejo Bolívar de la Estación Biológica del Coto de Doñana.

**—LA BIOLOGÍA Y LA GENÉTICA HUMANA.** Dr. Juan R. Medina Precioso, profesor agregado del departamento de Genética de la Facultad de Biología de Sevilla.

**—EL BIÓLOGO EN LA INDUSTRIA.** D. Miguel Ariza García, jefe de control de calidad de YBARRA BEATRICE, S.A.

**—LA TOXICOLOGÍA COMO ESPECIALIDAD: PAPEL DEL BIÓLOGO.** Dr. Manuel Repetto Jiménez, director del Instituto Nacional de Toxicología de Sevilla.

Este Ciclo Biología y Sociedad se organiza en colaboración con la Facultad de Biología de la Universidad de Sevilla.

*Ángel J. García Buendía.*

## Próxima aparición de Cuadernos de Ciencia

La revista *Cuadernos de Pedagogía* está preparando la edición de *Cuadernos de Ciencia*, cuya periodicidad será cuatrimestral, y con dieciséis páginas. La revista figurará como anexo de la primera. La intención de los editores es de que la revista conste de un artículo editorial, artículos y notas sobre experimentos, didáctica, revisión de conceptos, todos dirigidos a un público escolar en los niveles de EGB, áreas de Ciencias, BUP, COU y Formación Profesional. La revista constará asimismo de secciones fijas, como ciencia recreativa (experimentos de diversión y motivación), construcción de aparatos sencillos de uso didáctico, elementos de historia (de interés para la clase), una sección de reseña y comentario de artículos de revistas de didáctica de las Ciencias (ordenados por temas), y otra de crítica de libros. Por último dispondrá de una sección de noticias (seminarios, cursos, simposios, coloquios, etc.).

## El seísmo de El-Asnam: primeras conclusiones

El día 10 de octubre de 1980, a las 12 h 25, se producía en El-Asnam un seísmo de magnitud 7,2, muy cerca del lugar donde veintiséis años atrás ya se produjera otro terremoto. Una rápida intervención de los equipos del Instituto Nacional de Astronomía y Geofísica, en colaboración con sus colegas argelinos, ha permitido seguir la evolución de las réplicas del choque principal y observar las deformaciones de superficie consiguientes.

En un informe presentado en la Academia de Ciencias M. Ouyed, M. Megraoui, C. Antenor-Habazac, S. Bourezg, A. Cisternas, J. Dorel, J. Fréchet, M. Frogneux, D. Hatzfeld, H. Philip (serie D-663, noviembre 1980) muestran que el origen de estas sacudidas puede atribuirse a la acción de una falla orientada en el sentido suroeste-nordeste, que puede seguirse a lo largo de más de 40 km, tanto mediante el estudio de la sismicidad como por las deformaciones de superficie. Este accidente corresponde a un cabalgamiento del compartimento norte sobre el sur, con una extrusión vertical acumulada, que puede alcanzar en ocasiones seis metros de altura. Esto no es sino una presentación de datos preliminar; sin embargo, estos datos demuestran que este fenómeno es del mismo tipo del ocurrido en 1954, y que el movimiento que evidencia concuerda con el acercamiento de las placas de Europa y África.

## Metales preciosos en la lucha contra el cáncer

Además de su conocido atractivo material, los metales preciosos —mejor dicho, las sales de los metales preciosos oro, plata, platino, etc.— se utilizan desde hace tiempo en medicina. Hace algunos años se descubrió que algunos complejos del platino, en los que el metal se encuentra en el centro de un cuadrado ocupado por cuatro moléculas enlazadas (ligandos) como el amoníaco ($NH_3$) o el cloruro ($Cl^-$), podían tener una acción anticancerígena muy acusada, en particular cuan-

do los dos ligandos más fáciles de intercambiar se encuentran en el mismo lado del cuadrado (complejos *cis*, en oposición a los complejos *trans*, en que los ligandos intercambiables están situados en diagonal). Así, un cierto número de complejos *cis* del platino han sido empleados en la lucha química contra el cáncer con indiscutible eficacia. Por desgracia, estos derivados tienen además efectos muy tóxicos que se superponen a su acción anticancerígena, razón por la que se ha limitado su empleo hasta el momento.

J.P. Macquet y sus colegas del Centro de Toxicología y Farmacología fundamental de Toulouse, dirigido por C. Paoletti, han sintetizado un gran número de derivados *cis* del platino. Sus estructuras se han seleccionado en busca de un máximo de efectos anticancerígenos y un mínimo de toxicidad crónica. Uno de ellos, el PHIC (platino-1,2 diamino ciclohexano-isocitrato) posee una acción terapéutica superior a los demás, a la vez que una toxicidad muy baja. En Niza, en el Congreso de las Sociedades europeas de Oncología Médica, celebrado el pasado mes de diciembre, se presentaron las primeras pruebas realizadas sobre ambos; el producto ya ha sido patentado, y próximamente se efectuarán los primeros ensayos clínicos, bajo unas condiciones muy prometedoras, a juzgar por los resultados obtenidos *in vitro* o experimentados con animales.

## Neurobiología: un enzima con dos velocidades

Durante la transmisión del impulso nervioso al músculo, que se produce en la sinapsis, interviene un enzima: la acetilcolina-esterasa (AChE). Este enzima tiene la interesante propiedad de presentarse bajo formas moleculares distintas, que se pueden separar fácilmente con métodos bioquímicos. El tejido muscular contiene este enzima en grandes cantidades, y la región sináptica es muy rica en la forma A12 del AChE, que consta de doce cadenas proteicas idénticas y es la forma molecular más grande que se conoce.

Hasta ahora, la forma A12 sólo se hallaba en el tejido muscular, nunca en el nervioso. Ahora bien, recientemente, J.-Y. Couraud y L. Di Giamberardino, del CEN de Saclay, encontraron moléculas de AChE A12 en el tejido nervioso periférico del nervio ciático del pollo; y además observaron que dichas moléculas eran transportadas en el interior de los axones a velocidades extremadamente elevadas, en dirección a las terminaciones nerviosas (*J. Neurochem, 35,* 1053, 1980). Los autores pusieron de manifiesto que las diferentes formas moleculares del AChE presentes en el nervio ciático migran hacia las terminaciones nerviosas a velocidades muy distintas. Mientras que unas progresan lentamente a lo largo del axón (de 3 a 5 mm por día), otras (la forma llamada G4 y la forma A12) son arrastradas por un flujo axonal rápido a una velocidad aproximada de 400 mm por día. Pero los autores también observaron que hay un gran número de moléculas G4 que permanecen inmóviles, probablemente insertas en la membrana axonal. Sin duda, la renovación de estas moléculas estacionarias está asegurada por las moléculas G4 arrastradas por el flujo rápido y depositadas a lo largo de todo el nervio. Por el contrario, en los axones no existen moléculas A12 estacionarias, lo que hace pensar que son éstas las encargadas de alcanzar las terminaciones nerviosas. Así pues, estos trabajos demostraron que la forma molecular A12 de la AChE, que se consideraba de origen exclusivamente muscular, es también de origen neuronal. Además, las técnicas que han permitido evidenciar la velocidad de migración de estas moléculas en los nervios pueden aportar mucha información acerca de las moléculas que circulan, lo que abre interesantes vías de investigación, que se incluyen en su mayoría en el campo de la cirugía nerviosa.

## La génesis de un mediador de la inflamación

En los tejidos dañados se producen reacciones inflamatorias, que provocan irritaciones, hinchamientos y dolores. Estas reacciones se deben a la aparición en estos tejidos de moléculas específicas: los mediadores de la inflamación. Las prostaglandinas, por ejemplo, realizan varias funciones, y en los últimos diez años se han hecho grandes esfuerzos para descubrir cómo se forman estos mediadores en los tejidos. Un factor indispensable para la puesta a punto de los medicamentos antiinflamatorios es el conocimiento de las distintas etapas químicas necesarias para la síntesis *in vivo* de estos mediadores. Estos medicamentos actúan bloqueando alguna de estas etapas y, actualmente, se está estudiando en detalle las etapas químicas de la génesis *in vivo* de otro mediador de la inflamación, el «platelet-activating factor», o PAF-acéther. La unidad 101 del INSERM de Toulouse, compuesta por H. Chap, G. Mauco, M.-F. Simon y L. Douste-Blazy, en colaboración con J. Benveniste (Unidad 131 del INSERM de Clamart) ha puesto de manifiesto que la etapa final de la formación *in vivo* del PAF-acéther consiste en la adición de un radical acetato sobre un aceptor de naturaleza fosfolipídica, probablemente el 1-alquilo-glicerol 3-fosforilocolina (*Nature, 289,* 312, 1981) (esta sustancia procede probablemente de los fosfolípidos que constituyen las membranas celulares). Ahora, los autores se proponen identificar el enzima que realiza esta etapa, así como dilucidar las regulaciones eventuales y las etapas precedentes.

## Pirañas fósiles en Francia

Los peces de la familia *Characidae* cuyos representantes actuales más conocidos son las pirañas, viven en la actualidad en África y en América Latina. Por tanto, el descubrimiento, hecho en la cuenca de París en 1972, de dientes aislados pertenecientes al Eoceno inferior (la duración del Eoceno se extiende de 36 a 54 millones de años) es la prueba de que las pirañas estuvieron presentes en Europa durante esta época (*Bull. Mus. Nati. His. Nat.,* Sciences de la Terre, *9,* 37, 1972).

Recientemente, Jean Gaudant (París) encontró esqueletos enteros en Provenza, en las «calizas de Bythinies» (cuencas de Montmeyan, la Mourotte y Saint-Julien-le-Montagné, en el Var) que datan del Oligoceno (entre 22 y 36 millones de años) (*Géobios, 13,* 683, 1980). Estos últimos no parece que sean descendientes de los encontrados en la zona parisina. Así pues, parece razonable pensar que los *Characidae* de Africa (o de América Latina) atravesaron el Mediterráneo para establecerse en Europa occidental en dos oleadas sucesivas. Pero estos descubrimientos plantean un problema biogeográfico difícil de resolver, pues todos los *Characidae* actuales viven en agua dulce. En consecuencia, habrá que admitir que los *Characidae* podían vivir, al menos temporalmente, en aguas marinas, y que sus descendientes han perdido esta facultad.

## Hace 4000 años en el litoral de Poitiers

En la primavera de 1979, el arqueólogo aficionado, P.-P. Robert, descubrió en Bois-en-Ré, en los cimientos de una casa, un material arqueológico que fue estudiado por J.-P. Pautreau, de la Universidad de Burdeos. La conclusión que se obtuvo fue que dicho material era obra de los habitantes de un poblado campaniforme (*Bull. Soc. Préhist. France, 77,* 283, 1980). «Campaniforme» indicaba, inicialmente, la forma de la cerámica descubierta en las sepulturas o poblados costeros comprendidos entre Portugal y Holanda (véase fotografía). En Francia, los únicos yacimientos campaniformes conocidos hasta la fecha fueron descubiertos por Sacchi-Chaigneau en Vendée. El hallazgo de Bois-en-Ré aporta un elemento nuevo en este sentido, que confirma la existencia de una comunidad fuertemente instalada en la costa comprendida entre Loire y Gironde, que constituyeron un conjunto cultural de tipo campaniforme. El material arqueológico de la zona de Deux-Moulins consiste en una decena de objetos de sílex (demasiado pocos para permitir una conclusión) y unas sesenta vasijas, es decir, un conjunto fragmentario pero considerablemente homogéneo y coherente. Los sistemas de presión (tetones y asas) y la decoración en peine (punteado, líneas circulares y bandas emplumadas) son típicos del estilo llamado campaniforme.

El descubrimiento fortuito de Deux-Moulins indica que, 2000 a. J.C. el litoral de Poitiers y Charente estaba dominado por una cultura campaniforme.

## Se pone de manifiesto la interacción débil en una reacción nuclear

Generalmente, en las reacciones nucleares, la parte de la interacción débil se encuentra oculta por otras interacciones más intensas. Una forma de evidenciarla es buscar los efec-

tos de la no-conservación de la paridad. La interacción débil es la única que no respeta la paridad, también conocida como la invariancia de los sistemas físicos por simetría espacial. La no-conservación de la paridad en las reacciones nucleares acaba de ser puesta de manifiesto por primera vez en el caso de la difusión, con muy poca desviación de su trayectoria, de neutrones lentos (de energía menor a una centésima de eV) por núcleos de estaño, especialmente el isótopo 117. Esta experiencia ha sido realizada mediante una colaboración internacional, trabajando en el reactor de flujo elevado de Laue-Langevin (Grenoble), y con la ayuda de neutrones polarizados en más del 90 % (M. Forte y otros, Phys. Rev. Letters, 45, 2088, 1980). El efecto de no-conservación de la paridad se marca en la modificación del estado del spin del neutrón difundido: se mide, pues, la diferencia de fase, tras la difusión, entre los dos componentes del spin perpendiculares a la dirección del neutrón, con la ayuda de una técnica de «polarizadores cruzados» análoga a la empleada en óptica, manteniendo polarizados los neutrones mediante un campo magnético de conducción.

## Un pequeño azúcar sorprende a los inmunólogos

Resultados de una importancia fundamental en inmunología acaban de obtener H. Koszinowski y M. Kramer del Instituto de Inmunología y Genética de Heidelberg, en Alemania Federal (*Nature, 289,* 181, 1981). En efecto, sus trabajos ponen en cuestión los mecanismos mediante los cuales eran estudiadas las interacciones entre las células del sistema inmunitario y quizá puedan arrojar nueva luz sobre nuestros conocimientos en materia de rechazos de injerto.

Los autores estudiaron las interacciones que existen entre diferentes células inmunocompetentes. Los linfocitos T, responsables de las defensas inmunitarias, se fabrican en la médula y maduran en el timo. Unos son capaces de rechazar toda célula reconocida como extraña al organismo por interacción directa (rechazo de injerto, por ejemplo), y son llamados «citotóxicos»; otros regulan la aparición de los primeros: si inhiben, se les llama «linfocitos T supresores», y si activan «linfocitos T amplificadores»; esta regulación mediante los linfocitos T se extiende igualmente a la producción de los anticuerpos. Se cree que los linfocitos T actúan ya sea directamente por contacto celular, ya sea por medio de factores solubles. Estas dos interacciones se producen al nivel de la membrana de las células inmunocompetentes que regulan.

Hasta ahora, estaba admitido que estas interacciones se efectuaban entre glicoproteínas situadas sobre la membrana de las células, y que sólo la parte proteica de las moléculas entraba en juego. Sin embargo, no es éste el caso: en efecto, los autores mostraron que estas interacciones pueden ser inhibidas en la rata sólo por el efecto del metil-$\alpha$-D mannopiranosa, un azúcar monosacárido. Este efecto de una molécula no proteica sorprende en una interacción entre elementos presumidos como proteicos, y sugiere que los azúcares presentes en la superficie membranosa juegan un papel desconocido hasta ahora.

## TIM contra buceadores: Elf-Aquitania se prepara para explotaciones petrolíferas profundas

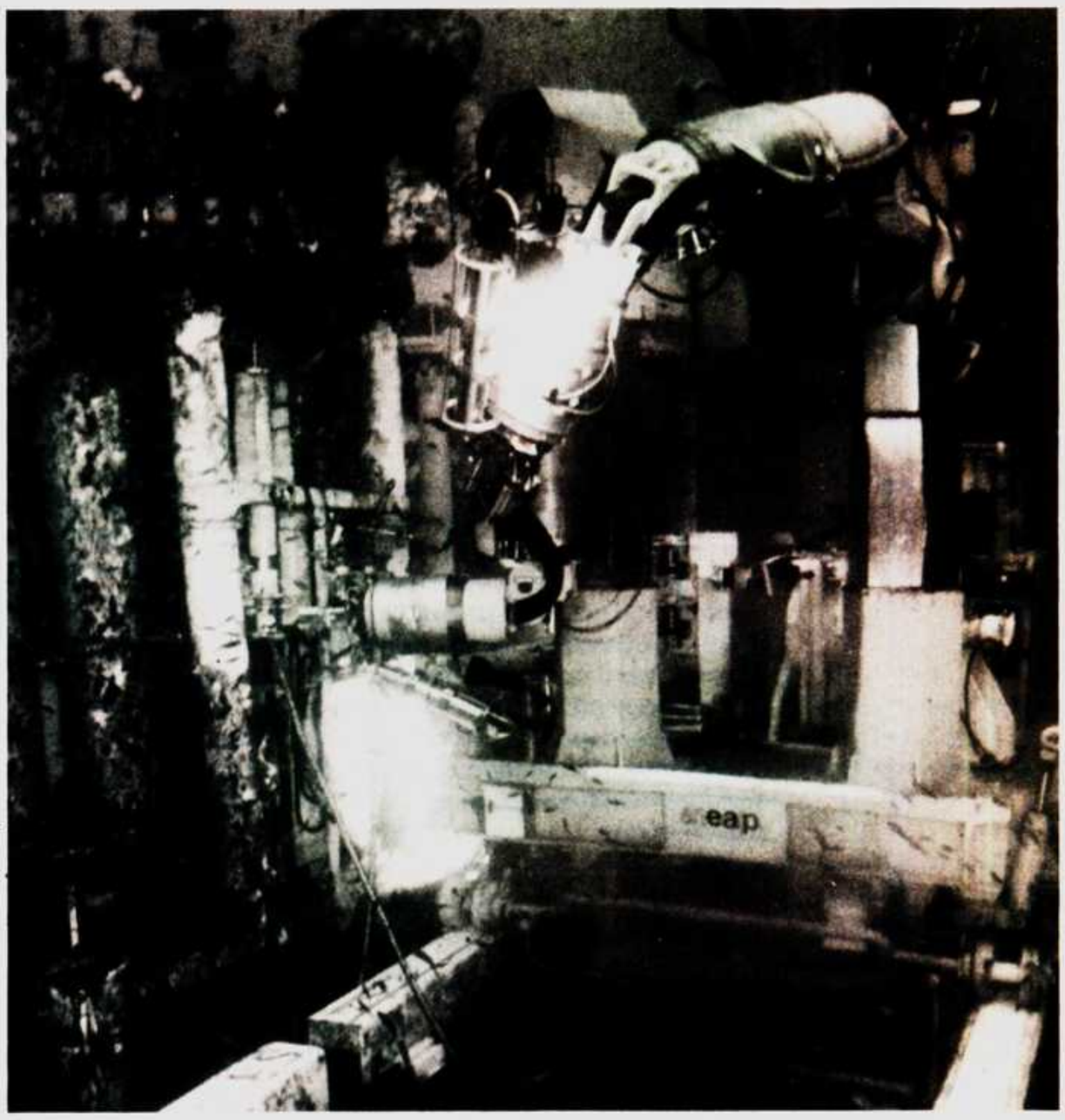



Foto B. Charlon. Elf Aquitaine

**Los yacimientos de hidrocarburos submarinos no son explotables a más de 300 m por debajo del nivel del mar. A esta profundidad, los buzos, verdaderos obreros del fondo del mar pueden trabajar en instalaciones submarinas, placas de base, pozos de sondeo, mandos a distancia y conexiones con la plataforma. Pero, en la actualidad, las empresas petrolíferas se preocupan más por la explotación de yacimientos submarinos a mayor profundidad. Se sabe que existen, en la zona septentrional del mar del Norte, yacimientos a más de 500 m, y junto a las costas españolas, a más de 400 m. La intervención de los buzos es un asunto delicado a profundidades comprendidas entre 300 y 600 m, y por debajo de esta cota es ya totalmente imposible. Una idea, relativamente simple en su planteamiento pero muy compleja en lo que concierne a su ejecución, ha ganado terreno en los planes de las compañías petrolíferas: desarrollar robots submarinos capaces de sustituir a los hombres en los trabajos a gran profundidad. Elf-Aquitania acaba de completar una serie de experiencias con el primer robot de este tipo, el TIM (telemanipulador de intervención y mantenimiento) en la estación submarina de producción petrolífera de Grondin, frente a las costas del Gabón. El TIM fue puesto a punto en colaboración con los distintos talleres y fábricas de Bretaña que lo construyeron. El TIM es un robot enorme, de 12 t, móvil sobre raíles, con dos brazos cuya fuerza es de 100 kg a 3 m del eje de la columna que los sostiene, y con una grúa central capaz de levantar 1 500 kg a 4,8 m del eje de la columna. Está concebido para poder operar a 600 m bajo el agua. Este poderoso aparato fue probado con éxito en Grondin, a 60 m de profundidad, en maniobras de compuertas de seguridad, en empalmes de tuberías y en la colocación de conexiones eléctricas e hidráulicas.**

**Este ensayo de robots subamarinos debe entenderse como primera etapa de un programa experimental más amplio para la explotación completamente automatizada del petróleo profundo, suprimiendo así las grandes plataformas. Este ambicioso programa, que se desarrolla en aguas de Noruega, ha sido bautizado SKÜLD, nombre de una diosa noruega... que es el símbolo del futuro y de la necesidad.**

# Publicaciones recibidas

## ¿Es verdaderamente indispensable nuestro cerebro?

John Lorber, profesor de neuroanatomía de la Universidad de Sheffield (EE.UU.), se apoya para sostener sus afirmaciones (*Science, 210,* 1232, 1980), en cierto número de casos, de los que el más sorprendente es el siguiente: un médico le envía un día a un estudiante, inteligente, sociable y brillante matemático. Sólo el volumen de su cabeza ha llamado la atención de la facultad. Por simple curiosidad Lorber lo examina con el scanner y comprueba que el cerebro del estudiante tiene un tejido cortical de un milímetro de espesor en lugar de los 4 ó 5 mm habituales. En efecto, este estudiante es hidrocéfalo, es decir, presenta una acumulación de líquido cefalorraquídeo en las cavidades ventriculares. Esto acarrea una presión del tejido cerebral contra la bóveda craneana. ¿Cómo explicar que este estudiante haya podido hacer una brillante carrera universitaria, e incluso que pueda llevar una vida normal, con un cerebro tan reducido?

Entre los bebés, cuyo cráneo es maleable, la presión del líquido cefalorraquídeo acarrea un aumento considerable de la cabeza. Este fenómeno físico va generalmente acompañado de una pérdida real de materia cerebral, y los hidrocéfalos son, casi siempre, limitados intelectual y físicamente. Gracias a la técnica del scanner, John Lorber ha examinado sistemáticamente 600 pacientes hidrocéfalos del hospital. Ha dividido estos casos en cuatro grupos, según la capacidad del cráneo ocupado por los ventrículos hipertrofiados (en el último grupo, por ejemplo, éstos ocupan el 95 % del volumen del cráneo). A menudo se trata de casos muy limitados, pero los que no lo son plantean, por regla general, un grave problema neurológico.

Lo más difícil de obtener en este tipo de investigación son datos cuantitativos convincentes para la comunidad científica. Lorber subraya que él no puede decir si el cerebro de su estudiante pesa 50 ó 150 g, pero está seguro que se encuentra lejos de los 1 500 g normales, y concluye que el cerebro dispone «de una fantástica capacidad de recuperación, como el hígado o los riñones». Esta observación, si bien no es nueva, ya que un buen número de médicos ya han observado que individuos hidrocéfalos pueden ser perfectamente inteligentes, plantea al menos una cuestión interesante: ¿qué significan exactamente las mediciones realizadas con el scanner? ¿Cuál es su precisión?

La revista *Science* también ha publicado recientemente (*211*, 508, 1981) un artículo en el que se aportan los resultados de un estudio con el scanner llevado a cabo sobre veintidós pacientes. Parece existir una clara diferencia de densidad del cerebro entre alcohólicos y no alcohólicos, estos últimos poseerían un cerebro más denso. Pero, ¿qué significan estadísticamente las mediciones realizadas sobre veintidós pacientes y con una técnica cuya precisión es objeto de muchas controversias (la variación de densidad observada es, sin duda, muy escasa)? Si el interés de este tipo de investigaciones sobre el cerebro humano es grande, no estará de más insistir en la prudencia necesaria a la hora de interpretar los datos, que debería ser la regla a tener en cuenta en este campo.

■ J. Terradas, «Ecología y educación ambiental», 75 pp., Ed. Omega, Barcelona, 1979.
■ F. Cordón, «La naturaleza del hombre a la luz de su origen biológico», 166 pp., Ed. Anthropos, Barcelona, 1981.
■ L. Cornudella, J. Oró, C.F. Heredia y A. Sols, «Avances de la Bioquímica», 593 pp., Salvat Editores, S.A., Barcelona, 1977.
■ Kenneth E.F. Watt, «La ciencia del medio ambiente», 334 pp., Salvat Editores, S.A., Barcelona, 1978.
■ M. Ibáñez, R. Ángulo y X. Iribar, «Geografía de Euskal Herria: vol VI «Biogeografía de la costa vasca», 284 pp., Luis Haranburu Editor, Donostia, 1980.
■ F. Suppe, «La estructura de las teorías científicas», 714 pp., Editora Nacional, Madrid, 1979.
■ G.A. Miller, «Psicología de la comunicación», 156 pp., Ed. Paidós, Barcelona, 1980.
■ W.F. Hill, «Teorías contemporáneas del aprendizaje», 264 pp., Ed. Paidós, Barcelona, 1980.
■ I. Asimov, «Momentos estelares de la ciencia», 148 pp., Alianza Editorial, Madrid, 1980.
■ G. Gamow, «Biografía de la Física», 428 pp., Alianza Editorial, Madrid, 1980.
■ K. Godel, «Obras completas», 430 pp., Alianza Editorial, Madrid, 1981.

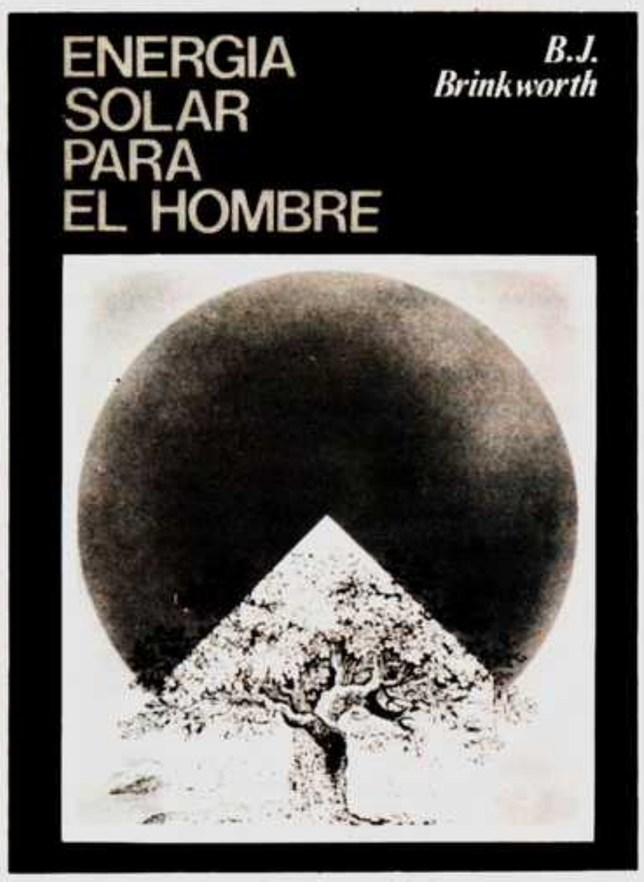
**Administrando la bioesfera/1**
**Grandes recursos y sistemas energéticos**

**Sumario**


| | | |
|---|---|---|
| *Hector Luis Morales Zavala* | Desarrollo rural, ciencia y decisión política ¿Divergencias o convergencias? | 7 |
| *A. P. Varela, Carol J. Pierce Colfer, Mohamad Brotokusumo* | Interacciones del hombre y el bosque en el Kalimantan Oriental | 19 |
| *Rada I. Kilchevskaya* | Contaminación ambiental e información genética | 37 |
| *Colin De Ath, Gregory Michalenko* | Alta tecnología y pueblos aborígenes: el caso de la deforestación de Papua Nueva Guinea y el Canadá | 45 |
| *Albert Sasson* | El desarrollo de los recursos forestales en las regiones tropicales | 67 |
| *Mansour S. Kashfi* | La alternativa energética para el futuro del Irán la energía nuclear | 75 |
| *William S. von Arx* | Cálculo estimativo de los niveles energéticos en los procesos naturales | 83 |
| *E. J. Da Silva, H. Shearer, B. Chatel* | Sistemas biosolares y microbianos renovables en el desarrollo "eco-rural" | 87 |

■ S. Ramón y Cajal, «Recuerdos de mi vida: Historia de mi labor científica», 396 pp., láminas 215. Alianza Editorial, Madrid, 1981.
■ Fundación Universidad-Empresa, «Los estudios de Biológicas», 114 pp., anexo 53, Fundación Universidad-Empresa, Madrid, 1981.
■ *Boletín de la Sociedad Canaria de Profesores de Matemáticas,* núms. 1, 2 y 7, Las Palmas de Gran Canaria.
■ *Nota Lepidopterológica*, vol. 4, n.º 1-2, Ed. E. Bros de Puechredon, alias de Bros, Regbasse 28, CH-4102 Binningen BL, Schweiz.
■ *Biosíntesis,* n.º 1, Asociación de Alumnos, Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid, 1981.
■ *Impact; science et societé,* UNESCO, París, n.º 1, enero-marzo 1981.
■ *Impacto,* vol. I, II y III, UNESCO, Instituto de Cooperación Iberoamericana y Oficina de Educación Iberoamericana, Madrid, 1980.
■ *Comercio e Industria,* enero-marzo 1981, Cámara Oficial de Comercio de Industria de Madrid, 1981.
■ Ministerio de Cultura, «Precatálogo de publicaciones: 1981», Ed. Científico-Técnica, Ciudad de La Habana, 1981.
■ *Butlleti de la Societat Catalana de Lepidopterologia*, n.º 30, octubre-diciembre 1980, «Societat Catalana de Lepidopterologia», entidad adherida a la «Institució Catalana d'Història Natural, Barcelona, 1980.
■ *Butlleti d'infermeria,* núms. de diciembre de 1980 y marzo 1981, «Associació d'Ex-Alumnes de l'Escola Universitaria de Santa Madrona», Barcelona, 1980-1981.

# Libros




B.J. Brinkworth,
**Energía solar para el hombre**
H. Blume Ediciones, Madrid, 1981,
serie: Energía, Clima, Diseño, pp. 244.

La colección que edita Blume sobre energía solar y temas afines constituye un esfuerzo encomiable de traducción al castellano de importantes obras que son textos clásicos en este campo en los países anglosajones. La colección se inició con el libro algo desfasado (aunque una buena introducción) de Farrington Daniels, «Uso directo de la energía solar», y ahora presenta el también clásico libro de B.J. Brinkworth «Energía solar para el hombre». Ambas obras constituyen importantes intentos de despertar el interés por esta fuente de energía, cuando todavía el petróleo era barato y no se había producido la psicosis de escasez que actualmente existe.

Sin embargo, Brinkworth era ya consciente entonces no sólo de la necesidad de desarrollar esta tecnología energética como fuente abundante y barata de energía, sino que además tenía clara conciencia de su importancia estratégica para los países del Tercer Mundo (la mayor parte del cual está situado entre los dos Trópicos, en el área de mayor insolación) a fin de escapar de la dependencia del petróleo y poseer sus propias fuentes de energía. Aunque para ello reconoce que será a las naciones occidentales desarrolladas económica y tecnológicamente a quienes les corresponderá perfeccionar las técnicas de captación de esta energía, así como los sistemas de acumulación, transformación y adaptación de la maquinaria clásica a ella.

Han pasado once años desde que Brinkworth escribiera estas ideas y la realidad es que sus esperanzas se han visto defraudadas casi por completo. La energía solar se está desarrollando con gran rapidez, aunque no se está haciendo ni se ha hecho todavía demasiado esfuerzo para investigar y desarrollar aplicaciones de esta energía destinadas a los países subdesarrollados, partiendo de sus necesidades.

Si dejamos estas consideraciones aparte, hay que advertir que, a pesar del tiempo transcurrido desde su redacción, este libro no ha perdido vigencia ni utilidad. Brinkworth, ha rehuido la descripción detallada de los distintos sistemas ideados para utilizar y funcionar con energía solar, y se ha centrado en desarrollar a un nivel teórico los fundamentos de los grandes principios físicos en los que se sustenta el diseño y el funcionamiento de las aplicaciones solares.

Todo el libro es un repaso a las bases fisicas (químicofísicas y biofísicas) necesarias para entender el funcionamiento de los distintos sistemas artificiales y naturales de captación de la energía solar. La comprensión de esta forma de energía no consiste sólo en observar que todo lo expuesto al Sol se calienta. Es necesario utilizar un lenguaje en el que se mezclan conocimientos de termodinámica, física cuántica, estructura molecular y atómica, física térmica, mecánica, biofísica, etc. Estos términos no desconocidos, pero a menudo ignorados, o temidos por muchos aficionados a distintos niveles en el campo de la energía solar, se analizan exhaustivamente pero también de forma bastante amena y comprensible para todos aquellos que tengan unos mínimos conceptos básicos de física y quieran leer y estudiar detenidamente el libro.

En cada apartado, el autor introduce desde el nivel básico los principios físicos fundamentales para la comprensión de cada aplicación solar. Con ayuda de un buen número de esquemas, gráficas y fórmulas, se engranan las ideas que nos han de ayudar a entender el funcionamiento, el mejor diseño, el cálculo del rendimiento energético teórico y las posibles variaciones a desarrollar a partir de un diseño básico.

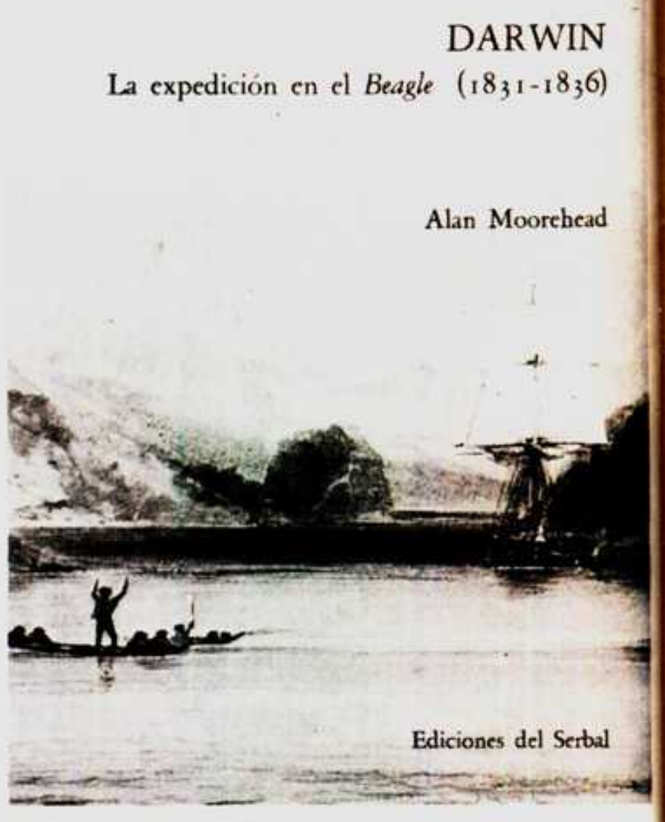
Brinkworth ha prescindido del análisis de detalle de los materiales, del diseño concreto y de las formas de construcción de los distintos sistemas de captación de energía solar directa, que es donde se han producido mayores progresos, cambios, y en definitiva donde habría quedado más desfasado.

Además de introducir las ideas más importantes de la relación geográfica entre la Tierra y el Sol, así como el comportamiento de su radiación en nuestro planeta, Brinkworth desarrolla extensamente los conceptos físicos de la captación solar, las características del calor solar y los distintos sistemas para captarlo, así como sus principales propiedades (incluida la refrigeración); la conversión de la energía solar en trabajo, donde aparecen los fundamentos generales de las máquinas térmicas y los específicos de las que usan energía solar; la conversión de energía solar en electricidad en sus variedades termoiónica y fotoeléctrica; y un último capítulo dedicado a la fotoquímica y fotobiología, que es quizás uno de los apartados donde se han introducido mayores innovaciones tanto a nivel teórico como de aplicaciones.

*Jaume Serrasolsas.*

Alan Moorehead,
**Darwin. La expedición en el Beagle. (1831-1836),**
pp. 240, Ediciones del Serbal, Barcelona 1980

Esta obra, de reciente aparición, es la traducción del original inglés publicado por vez primera en 1969 por Penguin Books, de la cual se han sucedido en pocos años numerosas reimpresiones (la traducción castellana, según se desprende de la ficha técnica que figura en ésta, lo es de la 6.ª reimpresión). Su autor, Alan Moorehead, es un periodista que




ha ejercido durante muchos años como corresponsal en el extranjero desde sus comienzos en el *Daily Express* en la Guerra Civil española y luego, como corresponsal también, en el Oriente Medio y Lejano Oriente durante la Segunda Guerra mundial. Los materiales que componen este libro fueron reunidos, en colaboración con su esposa —asimismo periodista— Lucy Milner, para integrar un guión cinematográfico que sus autores prepararon para Robert Radnitz.

Destacan en el libro la abundancia y calidad de las ilustraciones, muchas de ellas en color, que recrean aspectos humanos, así como el ambiente físico —con especiales referencias a la fauna y a la flora— de la travesía y las tierras visitadas por el *Beagle* durante su viaje.

El hilo conductor de la presente obra es la descripción sinóptica, con un estilo abreviado y directo, del famoso viaje que el barco del almirantazgo británico realizó desde que el 27 de diciembre de 1831 zarpara de Plymouth hasta que, en octubre de 1836, alcanzara de nuevo las costas de Gran Bretaña tras un extenso periplo de casi cinco años circunnavegando el globo. Esta descripción es utilizada por Moorehead para resaltar la figura de Charles Darwin (que viajaba en el *Beagle* como naturalista de la expedición) y la gestación, por parte de éste —a través de sus observaciones de la flora y fauna de los lugares recorridos—, de la teoría de la selección natural que Darwin iba a utilizar casi veinte años después de finalizado el viaje como motor explicativo de la evolución biológica, que desde dicha travesía fuera perfilando. Tal como es bien sabido, y se encarga de señalar Moorehead en esta obra, la teoría de la evolución en base a la selección natural constituyó un acontecimiento de primera magnitud. Y tras dotar, por primera vez en su historia, de coherencia a las ciencias que constituyen la biología trascendió sus fronteras afectando todos los campos del conocimiento humano, de forma que bien puede decirse que, tras la publicación de las tres principales obras teóricas de Darwin *El origen de las especies (1859), Las variaciones de los animales y plantas bajo domesticación (1868)* y *El origen del hombre (1871),* la cultura occidental moderna se ha visto decisivamente influida por ellas (y por los resultados de

las vías de investigación que contribuyeran a abrir) tanto por lo que respecta a la comprensión del universo como a la ubicación del hombre en el cosmos, de tal forma que, para algunos, la labor de Darwin podría interpretarse como una verdadera revolución, al estilo de la copernicana.

El primer capítulo del libro «La entrevista» refiere el origen familiar y social y las vicisitudes casuales que llevaron al joven Darwin a embarcarse en el *Beagle*, alentado por su tío Jos Wedguood y a instancias del botánico Henslow, quien fue profesor de Darwin en Cambridge. Asimismo, en este capítulo se narra la primera entrevista que sostuviera con el capitán del barco FitzRoy, que iba a iniciar una relación personal extraordinariamente cálida al principio y que fue enfriándose con el tiempo. Relación cuya importancia indudable está algo desmesurada en el relato, a consecuencia quizá del origen, como guión cinematográfico, de la obra.

A continuación «La partida», «El bosque tropical» y «Los animales antediluvianos» narran las primeras impresiones del viajero, que nos constan por diversos conductos, entre ellos el «*Viaje de un naturalista*» que escribiera el propio Darwin relatando sus impresiones del viaje. Este *Viaje de un naturalista*, verdadero libro de viajes decimonónico es de una amenidad —por lo que tiene de descripción de las costumbres y los paisajes y por la acción— grande y salpicada sólo, para el profano, por las descripciones de *historia natural* que Darwin incluyó de forma abundante, aunque su lectura a más de un siglo vista siga siendo apasionante (la última edición en castellano de la obra es la de la Biblioteca Básica Salvat, el número 42 de su colección). De alguna manera puede decirse que la obra de Moorehead que comentamos es un resumen simplificado de este libro, abreviando sus pasajes *técnicos*. En los tres capítulos citados se narra la impresión que causaron en Darwin —naturalista cuya formación en historia natural se afianzó, redondeó y consolidó durante el viaje y no antes— sus primeros contactos con la pluviisilva y los restos fósiles de animales extinguidos.

En «Tierra de Fuego», «La Pampa» y «Buenos Aires» nuevas etapas del periplo (no sólo marítimo, pues en el sur de la Argentina Darwin realizó una expedición terrestre de centenares de quilómetros desde El Carmen hasta Bahía Blanca y de aquí a Buenos Aires) se da cuenta de las nuevas pesquisas llevadas a cabo por Darwin mientras FitzRoy y la tripulación del barco se iniciaban en el desempeño de la misión oficial de la expedición (la complementación del cartografiado de algunas zonas de costa), misión que como bien es sabido no fue la que dio su celebridad histórica al viaje del *Beagle*. Asimismo hay abundantes pasajes, entresacados del *Viaje de un Naturalista*, de crítica y sátira social —entre ellos la cuestión de la esclavitud con toda su brutalidad y cuyo contacto directo afecta grandemente a Darwin; la grotesca figura del general Rosas y su «revolución» y las relaciones de Darwin como huésped y furtivo con ésta y con aquél. O la disparatada evangelización, y su más esperpéntico final, de los fueguinos que el capitán FitzRoy devolviera a su tierra.

En «Los Andes» y «El terremoto» se trata de la parte central de la misión del *Beagle*, junto con más aventuras y la desolación que los viajeros encontraron tras su arribada a Valdivia, justo después del gran seismo. Pero es «Los Galápagos» dedicado a la descripción de la visita a este archipiélago que, como es sabido, proporcionó a Darwin (por su situación y por las características de su flora y de su fauna) muchas de las evidencias que le permitieron consolidar y/o desvelar sus hipótesis evolutivas uno de los capítulos centrales de la obra. Luego «Rumbo a casa» representa el cajón de sastre donde se da cuenta del largo final del viaje. Y, finalmente, «La Asamblea de Oxford» es una especie de colofón, donde de forma muy breve se da cuenta de la labor posterior de Darwin, así como de su valoración. Quizá, por su concisión, sea esta la parte más incompleta de la obra, y también, en parte, por la excesiva personificación —¿recurso narrativo?— del enfrentamiento de Darwin con ciertos sectores sociales en la figura del capitán FitzRoy.

A pesar de ello el libro, que se lee de un tirón, por naturalistas y por no naturalistas debe calificarse de obra muy valiosa; y ello precisamente por su amenidad para propios y extraños. Frente al texto, que se incluiría en la denominada *divulgación* y también lo biográfico (géneros que por lo que respecta a las ciencias de la vida parecen actualmente tan poco cultivados) la obra se prestigia, además, por una ilustración desusada en tal tipo de publicaciones. Parte gráfica que, juntamente con una correcta presentación, le dan una belleza que no es sólo formal, pues las ilustraciones cuentán entre sus encantos el de proceder de fuentes muy cercanas a Darwin —apuntes del propio FitzRoy, originales de los dos artistas que se sucedieron a bordo, etc.— o cuando menos de fuentes coetáneas del viaje del *Beagle*. En este sentido si algún defecto cabe achacar al libro habría que buscarlo en su manera de hacer referencia al origen de tales ilustraciones que, por razones quizá comprensibles, no figura al pie de las mismas, pero que había sido solucionado de forma más práctica en la primera edición inglesa. Tal y como figura esta referencia en la versión castellana su comprobación resulta engorrosa, lo que es de lamentar, máxime teniendo en cuenta que, como se ha dicho, tal origen no desmerece sino más bien todo lo contrario.

Por las características apuntadas la obra puede ser del agrado de numerosas personas siendo quizás especialmente ilustrativa para jóvenes y adolescentes. En resumen, se trata de un libro que puede aspirar a reconciliar con el placer de la lectura a personas bien distintas, lo cual es, sin duda, el mayor de los elogios.

*Josep Cuello.*

## Criptografía

D. Kahn,
**La guerre des codes secrets,**
pp. 406, Interéditions.

Con el título *La guerre des codes secrets*, aparece la traducción resumida y adaptada del libro *The codebreakers*, publicado por David Kahn en Estados Unidos en 1967. Esta obra de historiador (que según cómo cabría calificar de historia militar y según cómo de historia diplomática) cautiva al lector con narraciones dignas de las mejores novelas policíacas existentes.

En un viaje por la historia oculta de las últimas guerras, David Kahn expone meticulosamente cómo, al interceptar y descifrar los mensajes entre los puestos diplomáticos alemanes durante la Primera Guerra mundial, el presidente Wilson se decidió a entrar en guerra del lado de los aliados; cómo la lentitud de las transmisiones americanas impidió que el alto mando de Pearl Harbour se informase en el plazo deseado, si se tiene en cuenta que los expertos habían hecho proezas para reconstruir a tiempo el rompecabezas de las comunicaciones japonesas. Además, demuestra la permanencia del sistema de cifraje en los Estados occidentales desde la Edad Media (parece que la civilización china fue poco sensible a este fenómeno a causa de su escritura ideogramática). Entre los «gabinetes negros» de las monarquías del siglo XVIII y el británico «gabinete 40» de la preguerra hay pocos cambios en los fundamentos; sólo se han adaptado a la evolución de las técnicas. En efecto, los métodos (matemáticos) de cifraje no han sufrido revolución alguna desde los descubrimientos de los pioneros del Renacimiento italiano y las aportaciones de François Viète, que fue uno de los padres del álgebra, pero también criptoanalista de Enrique IV. Tan sólo se han producido sucesivos perfeccionamientos. En cambio, con el desarrollo de las telecomunicaciones, la complejidad de la criptografía se ha disparado hasta el punto de no ser ya concebible sin la ayuda de las máquinas de cifrar. El Enigma, primer modelo difundido a gran escala, hizo su aparición a principios de la Segunda Guerra mundial. La exposición histórica de David Kahn termina con el advenimiento de esta máquina electromecánica.

Un breve capítulo, añadido a la primera edición, indica los progresos más recientes (a partir de 1973) que la criptografía debe a la aritmética moderna. Sin embargo, nadie recuerda lo que el cifraje debe y aporta a la informática y la microelectrónica. Es una lástima, pero esto evita al autor desvelar las prácticas más recientes, que podrían enturbiar la imagen de algunos gobiernos.

## Biología médica

K. Schmidt-Nielsen, L. Bolis y C.R. Taylor (eds.),
**Comparative physiology: primitive mammals,**
pp. 338, Cambridge University Press.

Nacido de un simposio celebrado en Cransur-Sierre en 1978, este libro recopila una treintena de contribuciones internacionales, principalmente centradas en el estudio del aparato digestivo, locomotor, excretor y endocrino, sin descuidar los aspectos evolutivos y etológicos.

Como remarca el profesor Schmidt-Nielsen en la introducción, toda su problemática está marcada por la ambigüedad de la definición misma del objeto de estudio, lo que —paradójicamente— constituye quizás uno de los aspectos más interesantes. En efecto: ¿qué es exactamente un mamífero «primitivo»? ¿Hasta qué punto las características fisiológicas de los mamíferos consideradas como primitivas reflejan de verdad esta supuesta condición? ¿No son más bien, al menos en algunos casos, especializaciones secundarias? y

¿cómo cerciorarse de ello? La discusión sobre la evolución de la fisiología térmica y metabólica de los mamíferos —abordadas aquí en distintas facetas por una decena de comunicaciones— es un claro ejemplo de estas dificultades. Evidentemente, la mejor comunicación es la del planteamiento «en dos fases», presentada por dos participantes (A.W. Crompton, C.R. Taylor y J.A. Jagger, *Nature, 272,* 333, 1978), de los que uno de ellos es coeditor. Esta hipótesis postula que la particular fisiología térmica y metabólica de determinados insectívoros nocturnos actuales representa una etapa evolutiva intermedia entre la condición primitiva (reptiliana) y la de los mamíferos diurnos más evolucionados. No obstante, recientemente, este punto de vista ha sido contestado (A.F. Bennet y J.A. Ruben, *Science, 206,* 649, 1979; R.D. Martin, *Nature, 238,* 335, 1980), según parece, con cierta razón.

De cualquier forma, el libro recoge contribuciones de gran calidad por lo que respecta a la fisiología comparada, la ecofisiología, la biomecánica y la endocrinología de los monotremas, los marsupiales y los numerosos placentarios comunes, e incluso primitivos. Así pues, su consulta será interesante y provechosa para los especialistas en biología evolutiva de vertebrados superiores.

J.Y. Follézou, P. Pouillart
**Précis de chimiothérapie anticancéreuse,**
pp. 444, Doin.

Este compendio de quimioterapia anticancerígena de J.Y. Follézou y P. Pouillart será muy útil para los biólogos y médicos interesados en la cancerología. En la primera parte, los autores definen las bases de la quimioterapia y resumen los conocimientos actuales de la biología de la célula cancerígena. Hay que tener nociones de cinética de crecimiento tumoral para poder comprender los mecanismos de acción de las drogas anticancerígenas. Los capítulos siguientes se dedican a la farmacocinética, a la resistencia y a los efectos secundarios nefastos de las drogas anticancerígenas.

En la segunda parte, los autores recuerdan los protocolos terapéuticos en vigor en el tratamiento de los distintos tumores y discuten los resultados obtenidos. También se señalan las indicaciones quirúrgicas y radioterapéuticas y se comparan con las de la quimioterapia. A cada localización tumoral se dedica un capítulo. Asimismo, se exponen nociones epidemiológicas para cada tipo de cáncer.

Es un libro claro en el que el problema de la biología del cáncer y de su quimioterapia está bien expuesto y resumido en términos asequibles para todos. Sin embargo, cabe objetar el exceso de simplificación de los problemas biológicos, tan complejos en materia de cáncer, por lo que el libro puede inducir a nociones erróneas al lector no informado.

B. Bierens de Haan,
**Dictionnaire critique de psychiatrie,**
pp. 286, Le Hameau.

Este libro, escrito con un lenguaje fogoso y directo por un psiquiatra genovés, se presenta como el manual para el futuro paciente hospitalizado. Contiene un cierto número de informaciones sobre el mundo psiquiátrico, pero cae a menudo en los tópicos al uso. Así la denuncia de los electrochocs no es una novedad; en cambio, el paciente al que se dirige corre el riesgo de quedarse perplejo ante ciertos consejos contradictorios, como, por una parte, la invitación a una desconfianza sistemática hacia los cuidadores y, por otra, las recomendaciones al paciente para que confíe en los medicamentos y en las terapias de comportamiento, que elogia de un modo vibrante. Esta obra militante está destinada a un gran público.

## Física

C. Vassallo
**Electromagnétisme classique dans la matières,**
pp. 264, Dunod.

Este libro se elaboró a partir de un curso realizado en la Escuela Superior de Telecomunicaciones. Es decir, que está dirigido a lectores que posean una formación matemática a nivel de selectivo de escuela Politécnica o similar. El libro presenta un tratamiento relativamente completo de las ecuaciones de Maxwell en un medio distinto al vacío. Hay que agradecer al autor el haber abordado el problema en toda su extensión en un medio dispersivo (los medios no dispersivos aparecen como casos particulares). También hay que agradecerle el haber renovado la presentación pedagógica de las ecuaciones de Maxwell mediante el uso sistemático del concepto de simetría. Por el contrario, hay que reprocharle que el capítulo de termodinámica sea tan poco consistente.

E.U. Condon, H. Obabasi,
**Atomic structure,**
pp. 658, Cambridge University Press.

El libro de Condon y Shortley: *Theory of atomic spectra,* publicado en 1935, sigue siendo hoy en día una de las obras básicas de la física. Reeditado varias veces, apenas fue modificado por sus autores, por falta de tiempo. No es hasta los diez últimos años de su vida cuando Condon encuentra el tiempo necesario para ampliar su obra incluyendo, especialmente, los importantes resultados aportados por físicos como Racah o Judd. Desgraciadamente, su muerte en 1974 le impidió terminar su obra y este libro es tan sólo el primer tomo de un trabajo que, en principio, estaba previsto se componía de dos.

El libro trata, esencialmente, de los fundamentos de la mecánica cuántica aplicados al estudio de los espectros atómicos. Los principales métodos necesarios para abordar este campo de la física son los siguientes: acoplamiento de momentos angulares, álgebra de Racah, teoría de grupos (en especial los grupos no compactos), métodos autocoherentes.

La obra, muy documentada, es de un nivel elevado. Está destinada a investigadores y a estudiantes especializados en espectroscopia atómica. Creemos que todos quienes apreciaron en su día el «Condon y Shortley» de 1935 podrán felicitarse por la aparición de una obra de calidad comparable, síntesis de cuarenta años de investigaciones.

W. Bertozzi, S. Costa y C. Schaerf,
**Electron and pion interactions with nuclei at intermediate energies. Studies in high energy physics.**
Vol. 2, pp. 704, Hardwood Academic Publishers.

En el curso de la última década la física nuclear de energías intermediarias ha adquirido un desarrollo importante, tanto en el plano experimental como en el teórico. Nuevos aceleradores de partículas han permitido a los físicos explorar la materia nuclear en profundidad, utilizando sondas de varios centenares de MeV de energía. Entre estas sondas, el electrón y el pión juegan un papel privilegiado y complementario a causa de las características propiedades de sus interacciones en los núcleos. Este libro, reseña de un curso realizado en junio de 1979 en los alrededores de Roma, nos presenta la situación exacta de la investigación en este campo, sobre todo por lo que respecta al análisis de experiencias y a los desarrollos teóricos recientes. Debido a su publicación relativamente rápida, el libro resulta de actualidad. Está dirigido a todos los investigadores que trabajan en esta especialidad, pero constituye también una excelente obra de referencia que toda buena biblioteca de física nuclear debe poseer.

R. Newman (ed.),
**Fine line lithography,**
pp. 476, North-Holland.

Resulta realmente sorprendente pensar que de ahora en adelante será posible «esculpir» la materia a una escala inferior al micrón, y de manera perfectamente controlada. La técnica de la litografía, utilizada desde hace siglos por los artistas, se sitúa en parte en el origen de la «revolución electrónica» de los últimos años gracias a los trazos de una finura extrema. Esta técnica se ha desarrollado con tal velocidad que la monografía que aquí se reseña, aunque puesta al día, constituye una auténtica obra de historia de la tecnología; en este campo, citar un artículo de 1970 es hacer historia. El libro describe, de manera clara y con todo lujo de fotografías, las distintas variantes, fotónicas o electrónicas, de la litografía. El último capítulo, particularmente interesante, está dedicado a los medios desarrollados para no guardar más que el grabado.

## Paleontología-Zoología

Louis L. Jacobs,
**Aspects of vertebrate history,**
pp. 408, Mus. North. Arizona Press.

Esta obra, realizada con motivo del setenta y cinco aniversario del nacimiento del gran paleontólogo americano E.H. Colbert, reúne veintidós publicaciones de gran interés, que cubren todo el campo de los vertebrados, desde los agnatos a los mamíferos.

Durante los numerosos años pasados en el American Museum de New York, Edwin Colbert ha trabajado de un modo infatigable con los anfibios y los reptiles fósiles; en este tema se ha convertido en un maestro indiscutible. Esta orientación constituye una constante de toda la obra. Así, de todas las contribuciones que figuran en ella, 14 están dedicadas a distintos aspectos del estudio de anfibios y reptiles paleozoicos y mesozoicos. Junto a monografías de enfoque anatómico [por ejemplo, el trabajo de A.W. Crompton y K.K. Smith (Har-

vard) sobre un cocodriloideo triásico], se encontrarán trabajos de carácter más biogeográfico y crítico [como el de A.J. Charig (Londres) sobre la distribución de los dinosaurios saurópodos], así como contribuciones más generales [como la de E. Kuhn-Schnyder (Zurich) sobre la clasificación de los reptiles o la de D.A. Russell (Ottawa), que constituye una vasta reflexión sobre el mundo de los dinosaurios y en qué aspectos nos atañe].

Este último trabajo resulta muy idóneo, pues Colbert era conocido por los no-especialistas sobre todo por sus famosas obras de semidivulgación sobre los dinosaurios. Pero, al principio de su carrera, fue un excelente y activo paleomastozoólogo, como explica, de manera interesante, G.G. Simpson (Tucson). Por último, cabe destacar también el importante trabajo de L.G. Marshall (Chicago), que ofrece un minucioso análisis histórico y comparativo de las numerosas hipótesis que conciernen a la paleobiogeografía de los marsupiales.

El libro está destinado, sobre todo, a los profesionales (paleontólogos, pero también zoólogos, anatomistas, zoogeógrafos...) para quienes, sin duda, constituye una fuente de documentos indispensable, al poner en claro diversas cuestiones, a veces bastante especializadas, pero siempre interesantes. Por esto la obra podrá interesar, en distinto grado, a un público algo más amplio que el meramente especializado.

B. Heuvelmans,
**Les bêtes humaines d'Afrique,**
pp. 672, Plon.

¿A qué disciplina correspondería esta obra paradójica? ¿Zoología, antropología, paleontología, etnología, sociología, historia, mitología, estudios folklóricos? Criptozoología, respondería el autor, o ciencia de los animales ocultos. ¿Ocultos, desconocidos, imaginarios o mal identificados? El problema es tan complejo que más de una vez se pierde en los meandros siempre fascinantes de un inagotable folklore africano. Pero estas bestias humanas de África son, en primer lugar, los grandes simios africanos reconocidos (chimpancés y gorilas) y el mismo *Homo sapiens*. La obra de B. Heuvelmans se presenta, ante todo, como una historia de las relaciones entre el hombre y los grandes simios africanos desde la antigüedad hasta el descubrimiento propiamente científico de estos últimos; y también como una historia de las relaciones —todavía más complejas y ambiguas— entre el hombre blanco occidental y los africanos, sean negroides, pigmeos o incluso bosquimanos y hotentotes. Es un curso de historia zoológica y antropológica apasionante, en el que vemos cómo, de forma paradójica, el hombre occidental comienza a humanizar de un modo natural todo lo que se refiere a los grandes simios (confundiendo a chimpancés, sátiros y pigmeos) y, por el contrario, a bestializar todo lo relacionado con los hombres desconocidos, como los pigmeos. En varias ocasiones, se explica cómo funciona el proceso de mitificación, en que el mito, figura imperecedera y preexistente en el espíritu humano, actúa como un estereotipo «al encarnarse tanto en personajes de leyenda y de ficción como en seres reales».

Por lo que concierne al aspecto histórico del descubrimiento progresivo de los grandes simios africanos, la obra se revela única en su género y el autor nos ofrece hermosas páginas inéditas que hablan de las primeras que se hicieron de estos simios.

Como era de esperar en un libro de B. Heuvelmans, una vez dilucidados los misterios del chimpancé enano y del gorila oriental, vuelve la cita con lo fantástico. Los problemas de especies o subespecies aún desconocidas de chimpancé (Koolokamba) o de gorila enano son clásicos en zoología de primates. Pero las referencias constantes a los australopitecos (Kakundakari y Kikomba, en particular en la cuenca del Congo) o al Neanderthal del Maghreb (para explicar los *gorillaï* del cartaginés Hannon) constituye lo más atrevido del libro. El autor, introduce también en el mito del hombre salvaje velludo formas únicamente conocidas en estado fósil, jugando a veces con las incógnitas que pesan sobre la determinación de los fósiles o sobre su datación. Ciertas afirmaciones ganarían en credibilidad si estuviesen mejor matizadas, o situadas en un contexto más tradicional. Pero, a pesar de las reservas concernientes a lo que se podría llamar el proceso de mitificación de los fósiles y la utilización abusiva y algo aventurada de reconstrucciones en vivo, es fácil prever que esta obra, rica y entusiasta, gustará a un muy variado público. Escrito bajo el doble signo del duende del misterio y de la investigación bibliográfica más académica, este largo viaje histórico zoológico a los confines de la animalidad consigue, finalmente, un hermoso resultado.

## Ciencias humanas

J. Nuttin,
**Théorie de la motivation humaine,**
pp. 304, PUF.

El concepto de motivación se encuentra en numerosos sectores de la psicología contemporánea, y a menudo juega el papel de «concepto clave». Sin embargo, su utilización resulta muchas veces delicada, pues existe la tentación de utilizarla como un razonamiento tautológico, encerrado en un círculo vicioso: se decide que la motivación es la causa de la acción del sujeto, y su acción deviene la prueba de su motivación. Esta dificultad ha llevado a algunos psicólogos a desechar este concepto. Sin embargo, cuando hay que describir el comportamiento, resulta difícil (y estéril) ignorar los fines, y por tanto los motivos, que originan este comportamiento. Por esto, partiendo de la hipótesis de que el concepto de comportamiento debe englobar el conjunto de funciones psicológicas del sujeto tratado, J. Nuttin se propone elaborar un concepto de la motivación humana. De un nivel elevado —y por tanto a veces difícil— este libro, rico en hipótesis, estimula la reflexión y llama la atención sobre el interés de una aproximación «cognoscitiva» en psicología. La obra es básica para cualquier psicólogo, pero también tiene interés para toda persona preocupada por el porque de las acciones humanas.

G. Noizet,
**De la perception à la compréhension du langage,**
pp 248, PUF.

Después de quince años de investigaciones teóricas y experimentales, el autor presenta los fundamentos de una psicolingüística autónoma, no limitada al estudio del lenguaje, a la utilización exclusiva de la teoría de la información o al modelo de la gramática generativa, sino que tiene la ambición de construir un modelo psicolingüístico del hablante. G. Noizet define claramente sus objetivos: el estudio y clasificación de las estrategias de identificación o de comprensión, la naturaleza de las operaciones que realiza una persona al hablar para conseguir la comprensión, la investigación de las normas de funcionamiento y su jerarquización. Esta aproximación al lenguaje de carácter eminentemente experimental constituye una contribución esencial a la exploración de un campo de estudio del que con frecuencia se ha excluido un factor importante: el hablante y los mecanismos psicolingüísticos que utiliza.

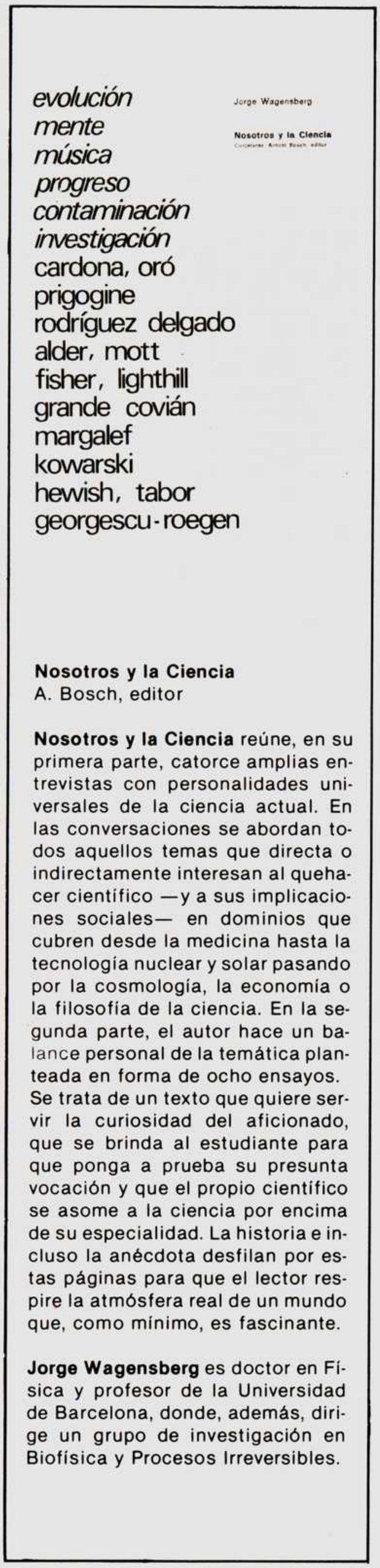
M. Chollot-Varagnac,
**Les origines du graphisme symbolique. Essai d'analyse des écritures primitives en préhistoire,**
pp. 476, Ed. de la Fondation Singer-Polignac,
43, av. G.-Mandel, 75016 París.

A despecho de un título muy vago y ambiguo, el contenido de esta obra está muy claro: se trata de un estudio de las representaciones geométricas del paleolítico superior sobre soporte mobiliario, realizado a partir de las colecciones del museo de Antigüedades Nacionales de París. Esta importante información se presenta en forma de fotografías acompañadas de una corta leyenda, en general clara y legible y clasificada según los motivos de las figuras. Asimismo, se pone a disposición de los interesados en los problemas del grafismo o del arte una gran documentación. La parte principal de la obra, que incluye las tentativas de evidenciar asociaciones preferentes entre los signos, se completa con los capítulos de síntesis y de reflexión, donde el autor se expresa de manera muy personal. Es en esta parte donde el lector se sentirá molesto al encontrarse frente a un sistema de pensamiento y un método de análisis y trabajo, aceptable hace veinte años (época en la que se realizó el trabajo), pero actualmente superados.

## Historia de la ciencia y la técnica

J.P. Collette,
**Histoire des mathématiques,**
vol. 1: pp. 228, vol. 2: pp. 360, Vuibert-Erpi.

El primer tomo de esta *Histoire des mathématiques* apareció en 1973; comprendía el período que va desde los orígenes a Stevin, Kepler, Galileo y Cavalieri. El segundo tomo conduce al lector hasta los primeros años del siglo XX (termina con Gödel y los *Grundlagen der Mathematik* de Hilbert y Bernays). No se trata de una historia erudita, sino de una iniciativa concebida deliberadamente desde una perspectiva pedagógica. El autor, Jean-Paul Collette, ha escrito el libro después de un curso impartido en la Universidad de Quebec. Su objetivo es presentar de un modo accesible las grandes etapas históricas y los más importantes matemáticos. Pero, esta preocupa-




**Nosotros y la Ciencia**
A. Bosch, editor

**Nosotros y la Ciencia** reúne, en su primera parte, catorce amplias entrevistas con personalidades universales de la ciencia actual. En las conversaciones se abordan todos aquellos temas que directa o indirectamente interesan al quehacer científico —y a sus implicaciones sociales— en dominios que cubren desde la medicina hasta la tecnología nuclear y solar pasando por la cosmología, la economía o la filosofía de la ciencia. En la segunda parte, el autor hace un balance personal de la temática planteada en forma de ocho ensayos.
Se trata de un texto que quiere servir la curiosidad del aficionado, que se brinda al estudiante para que ponga a prueba su presunta vocación y que el propio científico se asome a la ciencia por encima de su especialidad. La historia e incluso la anécdota desfilan por estas páginas para que el lector respire la atmósfera real de un mundo que, como mínimo, es fascinante.

**Jorge Wagensberg** es doctor en Física y profesor de la Universidad de Barcelona, donde, además, dirige un grupo de investigación en Biofísica y Procesos Irreversibles.

ción no excluye el rigor y la precisión técnicas; de ahí que en los puntos que el autor estima más importantes, la exposición se torna más compleja y no retrocede ante el razonamiento abstracto y el lenguaje técnico. Cada capítulo está seguido de una bibliografía básica y de un cierto número de preguntas que permiten verificar si las ideas fundamentales se han comprendido correctamente. Una obra así es evidente que no aporta gran cosa a los especialistas, pero será útil para los estudiantes y profesores de matemáticas, así como para todos aquellos que quieran disponer de un panorama claro y relativamente completo de las matemáticas.

J.-C. Beaune,
**L'automate et ses modèles**
pp. 470, Flammarion.
J.-C. Beaune,
**La technologie introuvable,**
pp. 285, Vrin.

Nacido en 1942, agregado de filosofía, actualmente profesor adjunto en Clermont-Ferrand, el autor de estos dos libros se interesa desde hace bastantes años por todo lo relativo a la técnica como lo demuestra la abundancia y variedad de sus referencias bibliográficas de más de 400 títulos al final de la obra.

Mientras el segundo libro *(La technologie introuvable)* es prácticamente ilegible y está plagado de generalidades de interés casi nulo, el primero proporciona la sorpresa de ser una exposición de lectura agradable en su mayor parte. Contiene, además, un número determinado de elementos interesantes, sobre todo en lo que se refiere a los «móviles» que, desde la Antigüedad, han sido un estímulo constante para la construcción de autómatas; explica, sobre todo, la imitación del comportamiento humano y la realización de dispositivos que, accionados por sí mismos («auto»), dan la impresión de tener vida propia y ejercer libremente su voluntad. No obstante, todo esto podía haberse dicho en un centenar de páginas. Lo que hace que el libro sea tan voluminoso es que la noción de autómata se extiende hasta abarcar el concepto de automatismo, que incluye tanto el automatismo de las operaciones intelectuales, como el de las mecánicas y el maquinismo en general. En este aspecto, cabría señalar que, tanto en lo que concierne al automatismo como al maquinismo, el autor se limita a recoger y ordenar cuestiones que ya han sido tratadas en obras más accesibles y más claras que la suya. Sin duda, encontramos dispersos algunos puntos de vista interesantes, pero se hallan inmersos en una masa de hechos conocidos y demasiado concretos para el tipo de obra en que aparecen. Sin embargo, el objetivo básico del libro se ha conseguido. El éxito del libro radica, a nuestro modo de ver, en la superación de una historia de las técnicas encerrada a menudo en sí misma o, al menos, orientada casi exclusivamente hacia la técnica industrial; otro aspecto positivo habría que buscarlo en la preocupación por escrutar el impacto que producen en el hombre el automatismo y, de un modo más general, los dispositivos mecánicos. Sin embargo, no podemos considerar que el libro cumpla este programa de forma satisfactoria. El autor podría haber clarificado su pensamiento, profundizando en el tema, expuesto mejor los problemas, definido y ordenado sus ideas y delimitado con exactitud el objeto de análisis. Entonces habría hecho una obra que contribuiría al progreso de la historia de la técnica y de su impacto sobre la civilización y la cultura; y el libro sería de fácil lectura, cosa que no ocurre en este caso.

## Ciencia y sociedad

P.P. Druet, P. Kemp, G. Thill,
**Technologies et sociétés,**
pp. 206, Galilée.

Este pequeño libro aborda frontalmente un problema fundamental. ¿Cómo controlar de manera democrática el desarrollo de la ciencia y la técnica? Para empezar, los autores definen con mucha claridad las relaciones que hay entre la ciencia, la técnica, la economía y el ejército en las «sociedades industriales». No todo es nuevo en estos análisis, pero condensan de manera eficaz las informaciones históricas y las críticas sociopolíticas, que nadie debe ignorar, ni siquiera aquellos que no estén de acuerdo... Porque Druet, Kemp y Thill, aunque ponen al descubierto «la tangible omnipresencia de los expertos» y «los poderes científico-técnicos», recalcan la importancia de los peligros y de lo que está en juego. ¿Qué significa el culto al «progreso» tan caro en una sociedad como la nuestra? ¿Acaso no se confunde con demasiada frecuencia lo cuantitativo con lo cualitativo, el «más» con el «mejor»? Todas estas cuestiones las vemos claramente gracias a reflexiones precisas sobre algunos ejemplos (y en particular sobre el debate nuclear). Aunque se trata de un texto hecho por militantes, no se esquivan las dificultades, y los autores no caen en la caricaturización. Las críticas son firmes y se apoyan en referencias controlables (y sobre una útil bibliografía). Este libro deberá interesar a un gran público y enriquecer la reflexión sobre el tema «ciencia y sociedad». Queda por saber si es posible su puesta en práctica, y si las sociedades llamadas avanzadas pueden realmente plantearse sus «proyectos» sociopolíticos. Los autores se muestran relativamente optimistas. Pero hay que darse cuenta de que la gran máquina científica-técnica, una vez puesta en marcha, es muy difícil de parar o de orientar de nuevo con fines distintos.

P.D. Reynolds,
**Ethical dilemmas and social science research,**
pp. 505, Jossey-Bass publishers,
San Francisco.

Esta obra examina los problema éticos que plantean las investigaciones realizadas con seres humanos en sociología y en psicología social. El autor considera dos tipos fundamentales de problemas: los atentados contra los derechos humanos (a causa, por ejemplo, del engaño, de la ausencia de consentimiento por parte de los individuos, del sufrimiento físico, del stress psicológico o de la falta de respeto a la vida privada) y las implicaciones de los resultados de las investigaciones en las ciencias sociales. Se analizan numerosos ejemplos concretos de investigaciones que violan las normas éticas habitualmente admitidas por la comunidad científica, lo que permite a Reynolds obtener soluciones generales que evitan las constantes «infracciones», a la vez que son satisfactorias desde los puntos de vista científico y ético.

# Manifestaciones científicas

1-4 junio — Metz (Francia)
**Congreso internacional sobre el análisis mineral elemental en la industria.**
S. International, 27, rue du Mans, 92400 Courbevoie.

---

**1-12 junio** — Madrid
**Curso internacional sobre nuevos métodos para el estudio de la Geoquímica y de la contaminación de las aguas subterráneas.**
Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Paseo de la Castellana, 3-4ª planta, Madrid-3.

---

1-5 junio — Niza (Francia)
**8º Simposium Internacional sobre el tratamiento de señales y sus aplicaciones.**
Secret. Colloque GRETSI, 7, Chemin des Presses, B.P. 93, 06802 Cagnes.

---

1-5 junio — Salisbury (EE.UU.)
**Conferencia internacional sobre la energia de los sistemas.**
B.A. Fusaro, Dept. of Math. Sc, Salisbury State Coll, Salisbury MD 21801.

---

1-13 junio — Singapur (Singapur)
**Conferencia matemática internacional: Álgebra y probabilidades.**
T.A. Peng, Dept. of Math., Nat. Univ. Singapore, Bukit Timah Road, Singapore 1925.

---

2-5 junio — Teddington (Gran Bretaña)
**Conferencia internacional: Medida de las propiedades de materiales a alta temperatura.**
M.S. Loveday, National Physical Laboratory, Queens Road, Teddington, Middlesex TW 11 OLW.

---

2-12 junio — Erice (Sicilia)
**Escuela internacional de verano: curso sobre tumores de riñón y de próstata.**
Pr. Michele Pavone-Macaluso, Inst. of Urology, Univ. Polyclinic Hosp., Via del Vespro, 90127 Palermo, Italia.

---

3-5 junio — Niza (Francia)
**1er Congreso sobre concepción de sistemas en telemática. Jornada de estudio sobre los medios y servicios de la telemática.**
W. Casteliani, CITEL, 8 Allée des Micocouliers, La cité bleue, 06220 Vallauris.

---

3-5 junio — Venecia (Italia)
**Coloquio internacional «Energía y materiales compuestos».**
G. Bonavent, IFP, 1 et 4 Av. des Bois-Préau, Boîte Postale 311, 92506 Rueil-Malmaison.

---

4-6 junio — Lleida
**Tercer Congreso Internacional de Historia de la Medicina Catalana.**
Secretaría del Congreso: Departamento de Medicina Legal y Toxicología, c/Casanova 143, Barcelona-36; tel.: 253-86-23.

---

6-12 junio — Nueva York (EE.UU.)
**Tercera reunión anual de ABLE (The Association for Biology Laboratory Education).**
Ken Laser. Department of Biology. SUNY at Stony Brook, Long Island, New York 11794 EE.UU.

---

8-12 junio — Helsinki (Finlandia)
**14º Congreso internacional de máquinas a combustión.**
CIMAC, 10, Av. Hoche, 75382 Paris, Cedex 05.

---

8-12 junio — Roma (Italia)
**«Workshop» internacional sobre desperdicios sólidos, lodos y residuos.**
William L. Lacy, U.S. EPA, 401 M. Street, S.W. Washington DC, 20460 USA.

---

9-11 junio — Hyères (Francia)
**6ª Reunión internacional sobre la arquitectura de las máquinas para tratamiento no numérico.**
INRIA, Domaine de Voluceau, Roquencourt, BP 105, 78153 Le Chesnay Cedex.

---

9-13 junio Cape Town (República Sudafricana)
**Simposium internacional «Categorical algebra and topology».**
K.A. Hardie, Dept. Math, Univ. Cape Town, Rondebosch 7700, República Sudafricana.

---

10-12 junio — Toulon-Ollioules (Francia)
**4º Coloquio internacional sobre ventanas electromagnéticas.**
Dir. Construction et Armes navales, colloque sur les fenêtres electromagnétiques, 83390 Cuers-Marine.

---

10-17 junio — Cerisy-la-Salle (Francia)
**Coloquio sobre la autoorganización: de la física a la política.**
CCIC, 27, rue de Boulainvilliers, 75016 Paris.

---

12-13 junio — Paris (Francia)
**Jornadas de estudio del CECEC sobre el tema: Interacciones sangre-superficies.**
Ch. Doutremepuich, Hôpital cardiologique, Av. Magellan, 3604 Bordeaux Pessac.

---

15-19 junio — Gaithersburg (EE.UU.)
**Coloquio internacional sobre las propiedades termofísicas.**
Kathy Sang, B-348, Materials Bldg. National Bureau of Standards, Washington DC 20234, USA.

---

15-19 junio — Gaithersburg (EE.UU.)
**3as Conferencias internacionales agrupadas sobre las propiedades termofísicas.**
U.S. Dept. of Commerce, N.B.S., Washington DC 20234, USA.

---

15-20 junio — Marsella (Francia)
**Coloquio internacional combinatorio.**
F. Sterboul, ER 175, 54 bd. Raspail, 75270. Paris, Cedex.

---

15-29 junio — Erice (Francia)
**Curso internacional de espectroscopia atómica y molecular: excitaciones colectivas en sólidos.**
Prof. B. di Bartolo, Dept. of Physics, Boston college, Chesnut Hill, Mass. 02167 USA.

---

17-19 junio — Charlotesville (EE.UU.)
**Conferencia internacional: «1981 Joint Automatic Control Conference».**
1981 JACC, Mr. Edgar H. Bristol, Research Dept. The Foxboro Co., Neponset Ave., Foxboro Mass. 02036, USA.

---

17-19 junio — Dublin (Irlanda)
**NASECODE II: 2ª Conferencia internacional de análisis numérico de componentes semiconductores y de circuitos integrados.**
Nasecode II conf., 39 Trinity college, Dublin 2. Eire.

---

21-24 junio — Ithaca (EE.UU.)
**Cuarto simposio sobre reguladores del crecimiento en la producción de frutos.**
Cornell University, Ithaca, N.Y. U.S.A.

---

21-26 junio — Notre Dame (EE.UU.)
**12º simposio internacional «multiparticle dynamics».**
W.D. Shephard, Phys. Dept., U. Notre Dame, Notre Dame, 46556 Indiana, USA.

---

22-25 junio — Berkeley (EE.UU.)
**Conferencia temática de espectroscopia fotoacústica.**
Barbara Hicks, Meetings Manager, OSA, 1816 Jefferson Pl., N.W., Washington DC 20036, USA.

---

22-26 junio — Nashville (EE.UU.)
**Simposio internacional de «Health impacts of different sources of energy».**
J.H. Kane, Conf. Manager, Int. Affairs, MS Al-5216, Dept. of energy, Washington DC, 20545, USA.

---

22-26 junio — Toulouse (Francia)
**4º Coloquio internacional del GDTA «La cartografía temática de los resultados de la teledetección».**
GDTA, 18 av. Édouard Belin, 31055 Toulouse CEDEX.

---

22-26 junio — Jerusalén (Israel)
**5º Congreso mundial de sexologia.**
Secrétariat de la SFSC, 75 Bld. de Courcelles, 75008 Paris.

---

22-junio-10 julio
15-julio-31 julio — Bréau-sans-Nappe (Francia)
**Dos escuelas de verano organizadas por el CEA, INRIA y EDF sobre «Ecuación de transporte» y «Sistemas repartidos y seguridad de funcionamiento».**
Sec. des écoles d'été, 1, Av. du Gal. de Gaulle, 92140 Clamart.

---

22-27 junio — Tübingen (RFA)
**Simposium internacional de estocástica y de análisis.**
H. Heyer, Math. Inst. der Univ. Tübingen, 10 Auf der Morgenstelle, D-7400 Tübingen, RFA.

---

28 junio-5 julio — Weimar (RDA)
**9º Congreso internacional sobre la aplicación de las matemáticas en ingenieria.**
H. Matzke, Pres. 9th IKM, 2 Karl Marx Platz. DDR-53 Weunar, RDA.

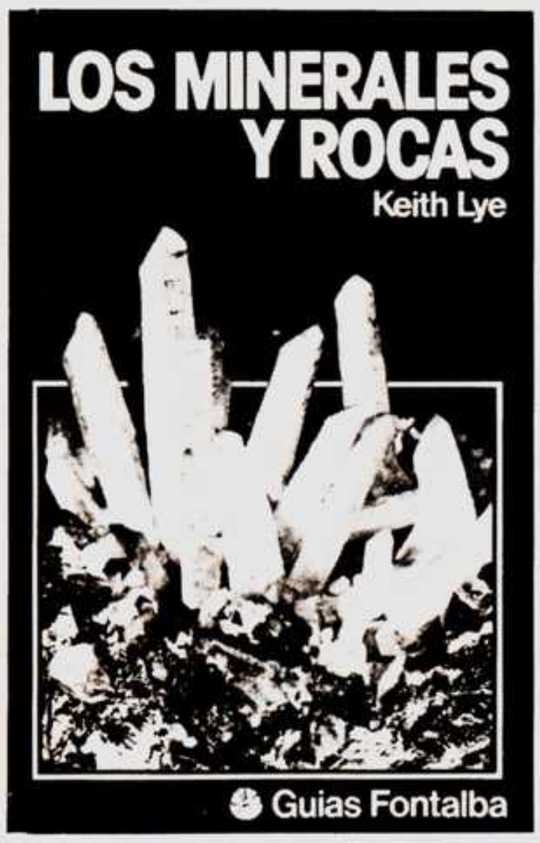
---

28 junio-11 julio — Lannion (Francia)
**Escuela de verano OTAN «El transporte atómico en los sólidos».**
CRA Catlow, Chemistry Department, University College London, 20, Gordon Street, London WC 1 H OAJ, U.K.

---

# LOS MINERALES Y ROCAS

Keith Lye




El lector encontrará en esta guía científica una información cuidadosamente seleccionada sobre las características de los distintos tipos de rocas y minerales existentes en nuestro planeta, además de sus aplicaciones prácticas en el terreno de la joyería.
Una guía exhaustiva de los minerales importantes y otra de las rocas más destacadas completan el material presentado con absoluto rigor y con un estilo sencillo, que facilita su comprensión.

Formato: 13,5 × 20 cm
Páginas: 128 en cartoné
Fotografías e ilustraciones a todo color

**P.V.P.: 650 pts.**

**Pidalo a su librero o contrarreembolso a:**

**Editorial Fontalba, s.a.**

**VALENCIA, 359 - 6.º 1.ª**
**BARCELONA-9 (ESPAÑA)**


30 Junio-2 Julio — Brighton (G.B.)
**Conferencia y exposición internacional: Ultrasonics-81.**
Ultrasonics international 81, Westbury House, Bury Street, Guildford, Surrey, GU 2 5 BH, G.-B.

30 junio-2 julio — Bethlehem (EE.UU.)
**4º Simposio internacional IMACS «Computer methods for partial differential equations».**
R.S. Stepleman, Comp. Techn. and Serv. Div. Exxon Comp., P.O. BOX 51, Linden N.J. 07036, USA.

1-3 julio — Paris-Créteil (Francia)
**Forum de Jóvenes de la sociedad de quimica biológica 1981.**
Melle Benhamou, CHU St. Antoine, 27, rue Chaligny, 75012 Paris.

1-15 julio — Erice (Sicilia)
**Escuela internacional de verano, curso sobre compuestos III-IV y sus aplicaciones.**
Dr. B. de Crémoux, LCR, Thomson CSF, B.P. nº 10 91401 Orsay, France.

2-8 julio — Grenoble (Francia)
**9ª Conferencia internacional sobre los semiconductores líquidos y amorfos.**
Sec. groupe des transitions de phases, CNRS BP 166, 38042 Grenoble.

3-7 julio — San José (Costa Rica)
**14º Congreso internacional de la federación mundial de hemofilia.**
Dr. R. Cordero, Apart. 5127, San José, Costa Rica.

5-10 julio — Jerusalén (Israel)
**4ª Conferencia internacional: «science des colloïdes et des surfaces».**
Prof. A.S. Kertes, Institute of Chemistry, The Hebrew University, Jerusalen, Israel.

6-8 julio — Madrid (España)
**Primeras Jornadas de Fitosociologia.**
Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia, Departamento de Botánica. Madrid-3.

6-9 julio — Estrasburgo (Francia)
**27º simposium de la IUPAC de quimica macromolecular.**
Prof. P. Sigwalt, Lab. de chimie macromolécu-laire Tour 44, 1er étage, Univ. P. et Mme. Curie, 4, place Jussieu, 75230 Paris, Cedex 05.

6-10 julio — Lyon (Francia)
**9ª Conferencia internacional sobre las colisiones atómicas en los sólidos.**
J. Rémillieux, IPN, Univ. Cl. Beenard Lyon-1, 43 Bld du 11 nov. 1918, 69622 Ville-urbanne Cédex.

6-10 julio — Budapest (Hungría)
**Conferencia internacional: Aditivos para alimentos.**
Inf. Conf. on feed add. c/o Hungarian Society of Agricultural Sciences, P.O. B. 451, H-1372 Budapest.

7-9 julio — Luxemburgo
**Congreso: la lexicografia en la era de la electrónica.**
Com. de las comunidades europeas, DG XIII/AZ, P.O. Box 1907, Luxembourg.

9-10 julio — Lyon-Villeurbanne (Francia)
**2º Coloquio nacional del GRECO sobre óxidos de carbono.**
M. Guisnet, Lab. de chimie VII, Université de Poitiers 40 Av. du Recteur Pineau, 86022 Poitiers.

11-16 julio — Tokyo (Japón)
**5º congreso internacional sobre el tejido vegetal y el cultivo de células.**
Masatoshi Iwata, Fac. of Agriculture, Univ. of Tokyo, Bunkyoko, Tokyo 113, Japon.

13-17 julio — Plymouth (EE.UU.)
**2ª Conferencia Gordon sobre la pirólisis analitica.**
H.L.C. Meuzelaar, Biomaterials profiling Center, 391S, Chipeta Way, Suite F., Research Park, Salt Lake City, Utah 84108, U.S.A.

13-17 julio — Haïfa (Israel)
**8º Coloquio internacional sobre los autómatas, los lenguajes y la programación.**
S. Even (ICALP 81), Comp. Sc. Dept., The Technion Haïfa, Israel.

14-18 julio — Minsk (URSS)
**15ª Conferencia internacional sobre los fenómenos en los gases ionizados.**
ICPIG-15 Orgkizing committee, Institute of Physics, USSR Academy of Sciences. Leninskii Prospect 70, Minsk USSR.

14 julio-6 agosto — Trieste (Italia)
**2º Simposium internacional sobre la energia no convencional.**
Intl. Center for theoretical physics, P.O. Box 586, I 34100 Trieste, Italia.

19-24 julio — Florencia (Italia)
**12º Congreso internacional de sintesis en quimica orgánica.**
U.K. Chemical society, Burlington House, London W1V OBN, G.-B.

20-23 julio — Oxford (G.B.)
**7º Simposium internacional de síntesis en quimica orgánica.**
U.K. Chemical society, Burlington House, London W1V, OBN, G.B.

20-24 julio — Albi (Francia)
**Coloquio sobre el tema «Espacio y representación».**
Nicole Guénin, UPA, nº 6, 144 rue de Flandre, 75019 Paris.

20-24 julio — Uxbridge (Gran Bretaña)
**Microfotografía.**
Brunel University, Uxbridge. Administrador, Royal Microscopical Society 37138 St. Clements, Oxford O X4 1AJ.

20-24 julio — Hamburgo (RFA)
**IFORS 81: «9ª conferencia trienal sobre la investigación operacional».**
M. Roubens, Faculté polytecnique, 9 Rue de Houdain, 87000 Mons, Bélgique.

27-31 julio — Lausanne (Suiza)
**3ª conferencia mundial IFIP sobre los ordenadores en la educación.**
B. Levrat, Univ. Genève, Centre Univ. Inf., 24 rue du Gén. Dufour, CH-1211, Genève, Suisse.

2-7 agosto — Estrasburgo (Francia)
**5º Congreso internacional de virologia.**
Prof. L. Hirth, Institut de biologie moléculaire et cellulaire, 15, rue Descartes, 67000 Strasbourg.

6-20 agosto — Spetsai (Grecia)
**Curso internacional: «Methods in membrane research and biological energy transduction».**
E.M. Klingenberg, Dept. Physical Bioch, University, Goethestr, 33, 8 München, RFA.

9-14 agosto — Toronto (Canadá)
**10ª Conferencia internacional de química organometálica.**
Dr. H.C. Clark, Vice Pdt Académie, Univ. of Guelph, Guelph Ontario, Canadá N1G 2W1.

10-14 agosto — Oslo (Noruega)
**4ª Conferencia internacional: «Basement tectonics»**
R.H. Gabrielson, Dept. of geology, Univ. of Oslo, P.O. Box 1047, Blindern, Oslo 3, Noruega.

10-14 agosto — Bad Honnef (RFA)
**Simposio internacional sobre la física de los sólidos bajo alta presión.**
R.N. Shelton, Iowa State Univ., Physics Dept., Ames, Iowa 50011, USA.

11-21 agosto — Berlín (RFA)
**6ª Conferencia internacional de física matemática.**
R. Seiler, Inst. für. Theor. Phys., Freie Univ. Berlin, 3 Arnimallee, D-1000 Berlin 33, RFA.

16-22 agosto — Vancouver (Canadá)
**Congreso 1981 de la IUPAC.**
Chemical Institute of Canadá, T.H.G. Michael Suite 906, 151 Slater St., Otawa, Canada K1P 5H3.

16-23 agosto — Cali (Colombia)
**Conferencia internacional sobre bacterias patógenas en vegetales.**
C. Lozano, CIAT. Apartado Aéreo 67-13, Cali, Colombia.

17-22 agosto — University Park (EE.UU.)
**5ª reunión internacional sobre la ferroelectricidad.**
R.E. Newham, Materials Res. Lab., Pennsylvania State Univ., University Park Pa 16802, USA.

23-28 agosto — Nueva York (EE.UU.)
**Simposio internacional sobre los aspectos físico-químicos de las superficies de polímeros.**
K.L. Mittal, Symp. Chm., Bldg 300-40 E, IBM Corp., Hopewell Junction, NY 12533, USA.

24-28 agosto — Londres (Gran Bretaña)
**4ª conferencia internacional sobre las propiedades electrónicas de los sistemas bidimensionales.**
Frank Stern, EP2DS Conf., IBM T.J. Watson Res. Ctr., Yorktown Heights NY 10598, USA.

24-29 agosto — Upsala (Suecia)
**8ª Reunión de la sociedad de geofísica europea.**
Dr. C.E. Lund, chairman, Box 556, S75122 Upsala, Suecia.

25-28 agosto — Bellaire (EE.UU.)
**Conferencia internacional 1981 sobre el tratamiento paralelo.**
J. Rothstein, Dept. of computer and information science, Ohio State Univ., Columbus, OH 43210, USA.

25-28 agosto — La Haya (Países Bajos)
**Conferencia europea 1981: «circuit theory and design».**
E. Van Verseveld, Delft Univ., of technology, Dept. of EE, P.O. Box 5031, 2600 GA Delft, Netherlands.

25 agosto-5 septiembre — Poiana Brasov (Rumania)
**Curso internacional «Gauge theories: Fundamental interactions and rigorous results».**
Pr. A. Corcioveci, Central Institute of Physics, Bucharest, P.O. Box 5222, Rumania.

26 agosto-7 septiembre — Grenoble (Francia)
**11º Congreso internacional de irrigaciones y drenaje.**
Comité d'organisation CIID-CID, av. d'Innsbrück, 38029 Grenoble Cedex.

28 agosto-9 septiembre — Erice (Italia)
**Curso internacional de cristalografía: «Interfacial aspects of phase transformation».**
B. Mutaftschiev. CRMC-CNRS, Campus Luminy, Case 913, 13288 Marseille Cedex 2, France.

30 agosto-4 septiembre — St. Maximin (Francia)
**22ª Reunión del grupo de estudios de química orgánica.**
Prof. G. Descotes, Lab. de chimie 2, École sup. de chimie industrielle de Lyon, 43, bd du 11-Novembre-1918, 69622 Villeurbanne Cedex.

31 agosto-4 septiembre — Columbus (EE.UU.)
**Simposium SCAR de glaciología antártica.**
Scientific Committee on Antartic Research, G.E. Hemmen, Exec. Sec. c/o Soctt Polar Res. Inst., Lensfield Rd, Cambridge CB2, 1ER, G.-B.

1-11 septiembre — Udina (Italia)
**2º seminario internacional «mathematical theory of dynamical systems and microphysics: geometry and mechanics».**
A. Blaquière, C.I.S.M., 18 Piazza Garibaldi, I-33100 Udina, Italia.

4-8 septiembre — Tokio (Japón)
**9ª Conferencia internacional de espectroscopia atómica.**
**22º Coloquio internacional de espectrocopia.**
International congrès, 146, bd Malesherbes, 75017 Paris.

6-11 septiembre — Lubeck-Travemunde (RFA)
**Segundo simposio internacional sobre la digestión anaeróbica**
Secretariat Second International Conference on Anaerobic Digestion, 142-144 Oxford. Road, Cowley, Oxford OX4 2DZ, United Kingdom T. (0865) 774051 Telex 83435 TW COG

Septiembre-diciembre — Erice (Sicilia)
El centro para la cultura científica d'Ettore Majorana organiza cursos y escuelas de verano cuyos temas y responsables son los siguientes:

10-21 septiembre
**Farmacología: «Leucotrinas y prostociclina».**
F. Berti.

20-27 septiembre
**Medicina: El sufrimiento.**
E.D. Hitchcock

21 septiembre-3 octubre
**Farmacología: Progresos en la terapia del cáncer.**
G. Robustelli della cuna.

4-6 octubre
**Aceleradores de partículas: Superconductibilidad R.F.**
E. Picasso.

6-14 octubre
**Conferencia de eurofísica: Unificación de las interacciones fundamentales.**

18-30 octubre
**Bioestructura fundamental y aplicada: carcinogénesis química.**

3-10 noviembre
**Formación de la imagen ultrasonora: Obstetricia y ginecología.**
C. Alvisi
**Cardiología.**

11-18 noviembre
**Medicina: Progresos en cirugía**
A. Rodolico

15-22 noviembre
**Conferencia de eurofísicos: Investigación sobre el atractivo de la belleza y la verdad en las altas energías.**
G. Bellini.

16-28 noviembre
**Estudio internacional: Metrología cuántica y constantes fundamentales de la física.**
P.H. Cutler.

29 noviembre-6 diciembre
**Biofísica: Bioelectroquímica.**
M. Blank.

6-12 diciembre
**Medicina preventiva: Epidemiología en el año 2000.**
L. Dardanoni.

6-12 diciembre
**Arqueología y civilización medieval: Poesía latina de la Antigüedad: retórica, teología y política.**
S. Costanza.

7-10 septiembre — Cambridge (G.B.)
**EMAG 81, Conferencia internacional de microscopia electrónica y análisis de grupos.**
Dr. J.N. Chapman, Dept. of natural philosphy, Univ. of Glasgow, Glasgow G12 8QQ, U.K.

7-11 septiembre — Estocolmo (Suecia)
**Simposium internacional «Automotive Technology and automation»**
ISATA 81, 42 Lloyd Park Avenue, Croydon CRO 5 SB, U.K.

7-11 septiembre — Burdeos (Francia)
**Coloquio internacional del CNRS sobre los fenómenos no lineales en la dinámica química.**
C. Vidal, Centre de recherche Paul Pascal, 33405 Talence Cedex.

7-12 septiembre — Bolonia (Italia)
**7ª Conferencia internacional sobre la arcilla.**
Pr. Dr. F. Veniale, Univ. di Pavia, Ist di Mineralogia e Petrografia, via A. Bassif, Pavia 27100, Italia.

9-11 septiembre — Cannes (Francia)
**7º Congreso internacional sobre los «Veri large data bases».**
INRIA, Rel. ext., B.P. 105, 78150, Le Chesnay Cedex.

9-12 septiembre — Dinard (Francia)
**Vº coloquio anual SFBD: Expresión de los genes en la ovocélula y durante la morfogénesis.**
Cl. L. Gallien, Laboratoire Biologie du développement, Université René Descartes, 45, rue des Saints-Pères, 75270 PARIS Cedex 06.

10-12 septiembre — París (Francia)
**8º Congreso internacional de biología matemática.**
Soc. de biologie mathématique, 11 bis, av. de la Providence, 92160 Antony.

13-20 septiembre — Varna (Bulgaria)
**Conferencia internacional sobre el análisis complejo y sus aplicaciones.**
Conf. Compl. Anal., Inst. Math, Bulgarian Acad. Sc., P.O. Box 373, 1090 Sofía, Bulgaria.

14-16 septiembre — París (Francia)
**Conferencia internacional sobre los resultados de la transmisión de datos y sus aplicaciones.**
INRIA, Rel. Ext.

14-18 septiembre — Grenoble (Francia)
**Conferencia internacional «El impacto de la informática sobre las investigaciones en las ciencias sociales», bancos de datos y desarrollos tecnológicos.**
IASSIST-IFDO, BP 34, 38041 St. Martin-d'Hères.

14-18 septiembre — Toulouse (Francia)
**Preparación de nuevas técnicas de recuperación de metales en disolución.**
R. Audinos, Un. Paul Sabatier, 118, rue de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex.

15-18 septiembre — Wroclaw (Polonia)
**Conferencia internacional «Systems science».**
Univ. Técnica de Wroclaw, Inst. de cibernética técnica, calle Janiszewskiego 11/17, 50370 Wroclaw, Polonia.

22-25 septiembre — Barcelona (España)
**IV Simposio de Botánica Criptogámica.**
Institut Botànic de Barcelona.
Avinguda Muntanyans, s/n. Parc de Montjuïc, Barcelona (4).

23 septiembre-2 octubre — París (Francia)
**SICOB 81.**
Sicob, 4 Place de Valois, 75001 Paris.

24-25 septiembre — Toulouse (Francia)
**Jornadas de estudio sobre la fluidización.**
G. Laguerie, Inst. du génie chimique, Chemin de la Loge, 31078 Toulouse Cedex.

24-28 septiembre — Île des Embiez (Francia)
**Simposio de acuariologia.**
Fond océanographique Ricard, 81 Bd Anatole de la Forge, 13014 Marseille.

28-30 septiembre — Budapest (Hungría)
**8º Simposium internacional sobre cristalografía industrial.**
Organizing Committee, C/O MTA MUKKI, Schonherz str. 2, P.O. Box 125, Veszpren Hongrie H8201.

28 septiembre-2 octubre — Grenoble (Francia)
**Conferencia internacional «Industrial application of radioisotopes and radiation technology.»**
IAEA, Vienna International Centre, P.O. Box 100, Wagramerstrasse 5, A-1400 Viena, Austria.

30 septiembre-2 octubre — Quebec (Canadá)
**Congreso internacional: Problemas de energía, Tercer Mundo, diálogo Norte-Sur.**
Pr. Antoine Ayoub, Dr. du Green, Dept. d'économique, Université Laval, Quebec, Canadá C1K 7P4.

4-7 octubre — Montreal (Canadá)
**2º Congreso mundial de ingeniería química.**
The Canadian Soc. for Chemical Engineering, 151 Slater St. Suite 906, Ottawa, Ontario, Canada, K1P 5H3.

5-8 octubre — París (Francia)
**Conferencia internacional sobre el acero en las estructuras marinas.**
Congrès-services, 1 rue Jules Lefebvre, 75009 Paris.

5-8 octubre — Le Bischenberg (Francia)
**6º Simposio europeo sobre las hormonas y la regulación celular.**
Dr Gunter Schultz, Pharmakologisches Inst. der Universität Heidelberg, in Neuenheimer Feld 366, D-6900 Heildelberg, RFA.

5-9 octubre — Roma (Italia)
**Congreso histórico internacional sobre la historia del descubrimiento de las regiones polares.**
Pr. L. Rey, Comité Arctique, 16 Bd de Suisse, MC, Monte-Carlo.

6-8 octubre — París (Francia)
**2º Congreso internacional: la electrónica en el automóvil, una necesidad imperiosa.**
SIA 3, av. du Président Wilson, 75116 Paris.

6—8 octubre — Braunschweig (RFA)
**Conferencia internacional con ocasión del 150 aniversario del nacimiento de Dedekind.**
Heiko Harborth, Techn. Univ., D-3300 Braunschweig, RFA.

7-9 octubre — Tokio (Japón)
**11º simposium internacional sobre robots industriales.**
K. Yonemoto, JIRA, C/O Kihaishinko Bldg. 3-5-8 Shibakoen, Tokyo.

11-15 octubre — Los Ángeles (EE.UU.)
**Reunión anual internacional de la SEG: «the geophysicist: exploting new frontiers of earth and space.**
D.L. Yowell, convention manager, SEG, P.G. Box 3098, Tulsa, Okla 74101, USA.

14-15 octubre — Orlando (EE.UU.)
**Reunión sobre las bases de datos para sistemas pequeños.**
R. Gerritsen, Intern. data Base Systems Inc, 2300 Walnut Street, Suite 701, Philadelphia, PA 19103, U.S.A.

19-24 octubre — México (México)
**Xº Congreso de la Unión internacional de ciencias prehistóricas y protohistóricas.**
Prof. H. de Lumley, Lab. de Paléontologie humaine, 1, rue René-Panhard, 75013 París.

17-18 noviembre — Villeneuve d'Ascq (Francia)
**Coloquio sobre test de toxicidad aguda en ecotoxicología acuática: metodología, estandarización e interpretación.**
D. Dive, INSERM U. 146, B.P. 39, 59651 Villeneuve d'Ascq Cedex.

3-9 noviembre — El Cairo (Egipto)
**Simposio internacional «Remote sensing of environment, remote sensing of arid and semiarid lands.»**
Dorothy M. Humphrey, Remote sensing center, ERIM, P.O. Box 8618, Ann Arbor, Michigan 48107, USA.

19-22 octubre — Palma de Mallorca (España)
**Conferencia y exposición internacional sobre la tecnología offshore profunda.** D.O.T., 19, Av. du Président Wilson, 75116 París.

19-23 octubre — Ispra (Italia)
**Seminario sobre la mecánica de la fractura.**
Segr. Ispra Courses, Centro comune di Ricerca, I-21020 Ispra, Varese, Italia.

21-23 octubre — Londres (G.B.)
**Conferencia con ocasión del 150 aniversario del vanadio: Aceros para los oleoductos.**
The Metals Society, the conference Dept. (INFO), the Metals Society, 1 Carlton House Terrace, London SW1 y SDB, U.K.

21-23 octubre — París (Francia)
**Séptimo coloquio europeo de diagrafía.**
IFP, 1 y 4, av. de Bois-Préau, BP 311, 92506 Rueil-Malmaison Cedex, Francia.

21-26 octubre — Amsterdam (Holanda)
**Simposio internacional sobre los lenguajes algorítmicos.**
Alg. Lang. 1981, Math. Center, 413. Kruislaan, ML 1098 SJ Amsterdam, Holanda.

23-24 octubre — Sophia Antípolis (Francia)
**Segundo simposium internacional del CIRD: El papel de los receptores en la piel.**
Prof. Hans Schaefer, CIRD, Sophia Antipolis, 06565 Valbonne.

# MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, version en castellano N.º 4



360 **CHEMICAL COMMUNICATION AMONG INSECTS,** by Claudine Masson and Rémy Brossut.
*Finding a sexual partner, identifying a predator, locating a former nesting site—to do these, insects emit and perceive chemical signals. These are, in effect, messengers an individual and his environment.*

372 **PRECISION IN EGYPTIAN HANDICRAFTS,** by Béatrix Midant-Reynes and Jacques Tixier.
*How did the Egyptian predynastic craftsman fashion his fancy flint blades, the use of which we still fail to grasp?*

374 **GENETICS OF A HUMAN POPULATION,** by André Chaventré and Laurent Degos.
*The legendary Blue People of the Sahara, the Tuaregs, are helping to renovate population genetics by providing first observations on the real evolution of a collective genetic heritage, one belonging to an ethnic group.*

384 **KARL JANSKY AND THE BEGINNINGS OF RADIOASTRONOMY,** by James Lequeux.
*The American engineer discovered radio emissions from the Milky Way fifty years ago... the origins of a science leading to two recent Nobel Prizes.*

386 **DOUBLE STARS,** by Camiel de Loore.
*Because one-half of all the stars belong to binary systems, double stars offer astronomers an exceptional subject of research.*

389 **THE GENETIC CODE AND THE EVOLUTION OF SPECIES,** by Richard Grantham.
*Decipherment of the data containet within 131 genes shows that living beings do not all use in the same way the «word» repertory of «gene language».*

401 **IS HORMONE-INJECTED VEAL DANGEROUS?,** by André Picot.
*In order to justify practices prohibited by French law, a distinction is made between «good» natural hormones and «bad» artificial ones. Is this scientifically sound?*

406 **HEAT CONDUCTION,** by Jean-Paul Issi.
*There something new in the study of thermal conduction mechanisms. Will this new knowledge about how heat passes through various materials make possible the development of new thermal insulators?*

416 **FEATURE: SCIENCE, TECHNOLOGY AND THE JAPANESE,** by Marc Dupuis.
*Japan is a major technological power, but what about its scientific prowess? The ink spilled in recent months over the «Japanese model» seems to have missed the point.*

425 **CLONING OF MAMMALS: WILL TOMORROW WITNESS THE «BEST OF ALL WORLDS»?,** by Marcel Blanc.
*The first asexual reproduction of mice has occurred within the laboratory, but for what purpose?*

429 **POCKET TELEVISION,** by Guy Labrunie.
*Japanese manufacturers have announced, within two years, they be marketing mini TV sets for pocket or wrist.*

432 **A CELL-RESCUING PROTEIN,** by Mireille Tardy-Horaist.
*A minor protein, RecA, regulates bacteria-damaged DNA in bacteria. Could this be applicable to human beings?*

440 **DOÑANA'S ECOSYSTEMS,** by Francisco García Novo.
*The importance of Doñana, as a natural area, lies in the great diversity of its ecosystems which form an interphase, or meeting place-between the Mediterranean, Atlantic, Eurasian and African biological worlds.*

452 **AT THE HEART OF THE FLAME,** by Louis Boyer and Pierre Clavin.
*Diagnosing flames in order to control turbulence will improve the efficiency of jet engines and other combustion chambers.*



# LOS FOSILES

**Mark Lambert**

Un libro que con sencillez y rigor científico informa detalladamente acerca de la evolución geológica y de la vida orgánica en nuestro planeta Tierra, desde los primeros indicios, como las algas azules, hasta la aparición del hombre.
Completan esta guía un extenso apartado dedicado a los métodos e instrumentos de recolección de los fósiles, a las más recientes técnicas de datación y una guía metodológica para su rigurosa clasificación.

Formato: 13,5 × 20 cm
Páginas: 128 en cartoné
Fotografías e ilustraciones a todo color

**P.V.P.: 650 pts.**

**Pidalo a su librero o contrarreembolso a:**

**Editorial Fontalba, s.a.**

**VALENCIA, 359 - 6.º 1.ª**
**BARCELONA-9 (ESPAÑA)**

## BOLETÍN DE SUSCRIPCIÓN

Copie o recorte este cupón y envielo a:
**EDITORIAL FONTALBA, S.A.**
Valencia, 359-6.º - Barcelona - 9 (España)

Señores: Deseo suscribirme a la revista **MUNDO CIENTÍFICO,** de periodicidad mensual, al precio de oferta de **2.475 pts.** (2.750 pts. precio-número), por el período de un año (11 números) y renovaciones hasta nuevo aviso, cuyo pago efectuaré mediante:

☐ Domiciliación bancaria
☐ Envío talón bancario por 2.475 pts.

A partir del n.º.....

Nombre _____
Apellidos _____
Profesión _____
Domicilio _____
Población _____ Dist. Postal _____
Provincia _____
País _____ Fecha _____

Firma,

Para el extranjero, enviar adjunto un cheque en dólares:

| | Ordinario | Avión |
|---|---|---|
| Europa | 40 $ | 45 $ |
| América | 42 $ | 55 $ |

(Se recomienda para América el envío aéreo).

## DOMICILIACIÓN BANCARIA

Lugar y fecha: _____

_____
(Banco o Caja de Ahorros)

_____
(Domicilio completo de la entidad bancaria)

_____
(N.º de la agencia) (N.º c/c o libreta de ahorro)

Muy Sres. míos:
Ruego a Vds. que, hasta nuevo aviso, abonen a EDITORIAL FONTALBA, S.A., Valencia, 359, 6.º, 1.ª - Barcelona-9 (España), con cargo a mi c/c o libreta de ahorros mencionada, los recibos correspondientes a la suscripción o renovación a la revista **MUNDO CIENTÍFICO.**
Atentamente le saluda:

Fecha _____ Firma,

Titular _____
Domicilio _____
Población _____

**NÚMEROS ATRASADOS**
Sírvanse enviarme los siguientes números: .....
forma de pago: ☐ talón adjunto (250 ptas. ejemplar)
☐ contrarreembolso (250 ptas. ejemplar más 50 ptas. por gastos de envío expedición)

Nombre: .....
Domicilio: .....
Población: ..... D.P. .....
Provincia: .....

VI-1981


# LA RECHERCHE

**COMITÉ CIENTÍFICO**
Pierre Gilles de Gennes
Xavier Le Pichon
Maurice Lévy
François Morel
Guy Ourisson
Charles Thibault

**DIRECTOR**
Claude Cherki

**JEFES DE SECCIÓN**
Catherine Allais,
Martine Barrère,
Marcel Blanc,
Jean-Claude Hazera,
Patricia Pineau,
Pierre Thuillier.

# MUNDO CIENTIFICO

DE EDITORIAL FONTALBA

**DIRECTOR**
José Gili Casals

**DIRECTOR CIENTÍFICO**
Jaume Josa i Llorca

**REDACCIÓN**
Sebastià Puigserver
Pilar Merino
Mª José Velázquez

**PRODUCCIÓN**
Joan Oró

**PROMOCIÓN EXTERIOR**
Adelita Doménech

**Han colaborado en el presente número**

**ASESORAMIENTO Y TRADUCCIÓN:**

La comunicación química en los insectos: *Jaime Fernández Borrás.*
La destreza del artesano egipcio: *Guiomar Eguillor Ramos.*
La genética de una población humana: *Miguel Hernández Martínez.*
Karl Jansky y los orígenes de la radioastronomía: *Carlos López Civit.*
Las estrellas dobles: *José Javier Labay Aguirre.*
Código genético y evolución de las especies: *Josep Cuello i Subirana.*

¿Es tóxica la ternera con hormonas?; El clonaje de los mamíferos: un «futuro mundo feliz»: *Inma Mañá Delgado.*
La conducción del calor: *Jesús González Miranda.*
Dossier: los japoneses, la ciencia y la tecnología: *Domènec Bergadà i Formento.*
La televisión de bolsillo: *Teresa Mestre Alcaraz.*
En el corazón de las llamas: *Albert Masó i Planas.*

**CRITICA DE LIBROS:**
Energía solar para el hombre: *Jaume Serrasolsas i Domènech.*
Darwin. La expedición del *Beagle: Josep Cuello i Subirana.*

**EXCLUSIVA DE PUBLICIDAD**
**PROMEDIA, S.A.**
Av. Príncipe de Asturias, 8 Entlo. 1.ª
Barcelona - 12
Tels. (93) 218 42 55/218 41 71

**EXMECOSA**
Claudio Coello, 20
Madrid - 1
Tels. (91) 226 89 23/276 81 12

**DISTRIBUCIÓN PARA ESPAÑA**
Marco Ibérica, S.A.

**FOTOCOMPOSICIÓN**
GRAFITEX (Barcelona)

**IMPRESIÓN**
CAYFOSA
Sta. Perpetua de Moguda (Barcelona)

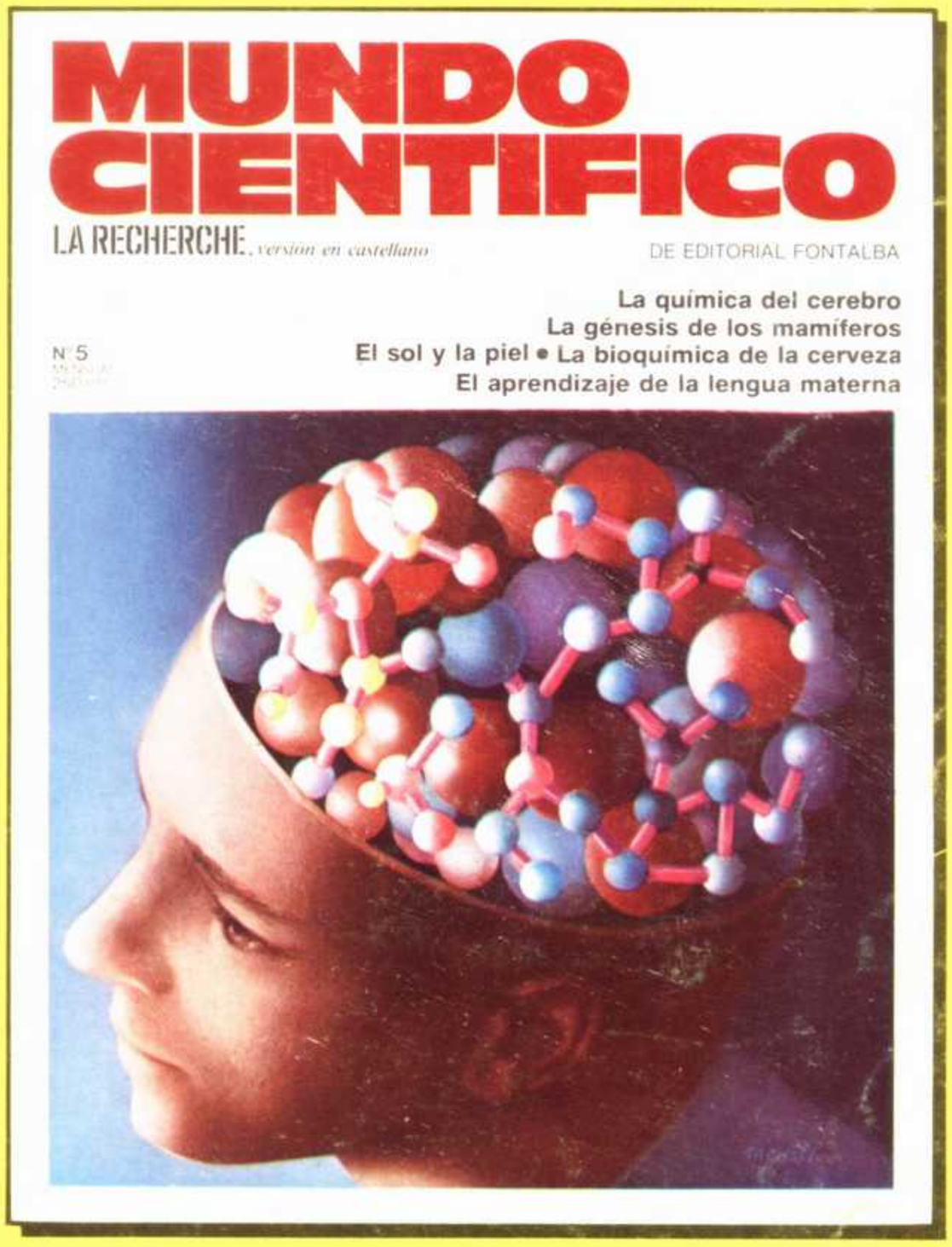
**EDITA**
**EDITORIAL FONTALBA, S.A.**
Valencia, 359, 6.º, 1.ª
Barcelona - 9 (España)
Tels. (93) 258 55 07/08
Télex 97835 FON E

Impreso en España-Printed in Spain
Depósito Legal: B. 10.896-1981
ISBN: 84-85530-29-2
ISBN: 84-85530-25-X (obra completa)


© Societé des Editions Scientifiques. 1981
© Para la lengua española Editorial Fontalba, S.A. 1981

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización de los editores.

# La revista científica de ámbito internacional




## Artículos principales del próximo número:

**El sol y la piel,** por Mario Lecha.

**La bioquímica de la cerveza,** por Charles Dalgliesh.

**Los mensajeros químicos del cerebro,** por Tomas Hökfelt.

**El aprendizaje de la lengua materna,** por Dan Slobin.

**La génesis de los mamíferos,** por Charles Devillers.

**Dossier: el almacenamiento de los residuos radiactivos,** por Gene Rochlin.

**Tendencias para la programación científica y técnica en la década de los ochenta,** por Emilio Muñoz.

**Carne más tierna mediante estimulación eléctrica,** por Christian Valin.

**¿Está Venecia a salvo de las inundaciones?,** por Alain Jaubert.

**Exploración del sistema solar: EE.UU. da marcha atrás,** por Alain Repairoux.

**La inversión de la esfera y el cine informático,** por Nelson Max.

## Y las secciones habituales:

**Manifestaciones científicas**
**Informaciones y noticias**
**Ciencia y política**
**Libros**
**Publicaciones recibidas**
**Correspondencia**

EX LIBRIS Scan Digit

The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/